

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MECHANICAL TECHNOLOGIES

OBRÁBĚNÍ PLASMOVÉHO NÁSTŘIKU

MACHINING OF PLASMA COATING

BAKALAŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL KRAJKOVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Krajkovič

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění plazmového nástřiku materiálu

v anglickém jazyce:

Machining of plasma coating

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Představení procesu plazmového nástřiku. Podmínky obrábění v prostředí firmy. Rozbor a řešení problémů při obrábění. Uvedení úspěšnosti řešení. Závěr.

Cíle bakalářské práce:


Rozbor specifické situace ve firmě při obrábění vytípaných dílů a navazující řešení odvozené z problémových stavů.


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011




prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



Anotace

Tato práce představuje proces plazmového nástřiku a druhy používaných nástřiků, dále se zabývá teorií a parametry obrábění plazmových nástřiků. Práce především popisuje dva konkrétní způsoby obrábění problematických součástí a to včetně návrhu na zlepšení obráběcího procesu.

Summary

In this Bachelor's thesis are presented plasma coating process and other used coatings, included plasma coating theory and machining parameters. Firstly describe two concrete methods of machining problematical parts with suggestion to improve machining process.

Klíčová slova

Plazmový nástřik, parametry obrábění

Key words

Plasma coating, machining parameters



Bibliografická citace mé práce:

Krajčovič, P.: *Obrábění plasmového nástřiku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval.

.....
podpis diplomanta



PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Milanu Kalivodovi za poskytnuté rady a připomínky při vypracovávání bakalářské práce a za to že mi všestranně vycházel vstříc při plnění této úlohy.



OBSAH

1. Úvod	8
1.1. Cíl práce	8
1.2. Získávání informací	8
1.3. Plazmové nástřiky	9
1.3.1 Představení procesu plazmového nástřiku	139
1.3.2 Druhy plazmových nástřiků	11
1.3.3 Plazmové nástřiky používané ve firmě	13
2. Problematika obrábění plazmových nástřiků	15
3. Problematický dílec č. 1	17
3.1. Dílec č. 1, popis dílce a vzniklého problému	17
3.2. Plazmovací proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu	18
3.3. Obráběcí proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu	19
3.4. Zhodnocení procesů a návrh na řešení problému	21
3.5. Ověření funkčnosti navrhnutého řešení	28
3.6. Zhodnocení výsledků	29
4. Problematický dílec č. 2	29
4.1. Dílec č. 2, popis dílce a vzniklého problému	29
4.2. Plazmovací proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu	31
4.3. Obráběcí proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu	31
4.4. Zhodnocení procesů a návrh na řešení problému	33
4.5. Ověření funkčnosti navrhnutého řešení	38
4.6. Zhodnocení výsledků	40
5. Obecné zhodnocení návrhů řešení a výsledků	40
5.1. Aplikace dosažených zlepšení pro další problematické dílce	40
5.2. Dlouhodobé sledování dosažených výsledků	40
5.3. Využití výsledků pro návrhy na změny v interních směrnících	40
5.4. Shrnutí závěrem	40
6. Závěr	441
7. Použité zdroje	422



1. Úvod

Obsahem mojí bakalářské práce je téma, které se zabývá rozbořem technologie plazmování součástí a obráběním plazmových nástřiků, optimalizací těchto procesů, aplikovaných přímo na vyskytnuté problémy.

Žárové nástřiky představují perspektivní technologii poskytující funkčně efektivní povlaky o tloušťce větší než 50 m m, používané v mnoha odvětvích průmyslu. Tyto flexibilní, vysoce kvalitní a ekonomické technologie, umožňují optimálně přizpůsobit povrchové vlastnosti součástí provozním podmínkám. To vede k prodloužení životnosti, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti součástí, i k lepší ekonomice daného procesu.[1]

1.1. Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je představení plazmovacího procesu součástí a představení problematiky obrábění takto vytvořených povrchů. Dále vytvoření návrhů řešení problémů, vzniklých při obrábění těchto povrchů v praxi. Praktické vyzkoušení návrhů a sledování jejich účinnosti. Práce je zaměřena na dvě konkrétní součásti, vyráběné ve firmě Honeywell, v různých sériích.

Podstatné pro mou práci jsou i informace o dosavadních výsledcích při obrábění těchto součástí, poskytnuté technologem firmy i s doprovodnými fotografiemi a obrázky, které přiblíží danou problematiku.

1.2. Získávání informací

Základem pro získávání prvotních informací v mém případě byly konzultace s technologem plazmových nástřiků firmy (SCA) Josefem Štouračem a technologem obrábění ing. Liborem Zubíčkem, aktivní účast na jejich schůzkách při řešení vzniklých problémů při obrábění plazmových nástřiků. Dále se jednalo o sledování dosažených výsledků přímo při výrobě. Dále druhu použitých nástrojů a také zkušenostech zaměstnanců, kteří tuto práci vykonávali.

Abych co nejvýstižněji popsal problematiku jako celek, vybral jsem si dvě součásti s rozdílným plazmovým nástřikem, obráběných na rozdílných strojích.

Před návštěvou, kterou jsem plánoval, jsem nejdříve telefonicky kontaktoval oddělení pro spolupráci se studenty. Požádal jsem je o spolupráci na mé bakalářské práci. Oni mě předali kontakt na (CA) ing. Jindřicha Ziegelhajma, který má ve firmě Honeywell na starosti speciální procesy a je pověřen podávat informace o těchto procesech v této firmě.

Prohlédl jsem si plazmovací a obráběcí technologie, používané v této firmě, které byly zaměřeny na často se měnící strojírenskou výrobu menších sérií leteckých součástí, proto se jednalo o univerzální stroje s speciálními přípravky.

(CA) - certifikovaný agent speciální procesy. (SCA) - certifikovaný agent speciálního procesu

1.3. Plazmové nástřiky

Žárové nástřiky jsou velmi obsáhlé téma. Existuje velké množství různých metod nanášení nástřiků, a také velmi mnoho různých materiálů, které se na povrch nanášejí kvůli svým specifickým vlastnostem.

V této práci si představíme pouze 3 metody, které využívá firma Honeywell při své výrobě. Jelikož většina informací ve firmě podléhá utajení a není zde dovoleno fotografování, jsou obrázky pouze schématické. Fotografie nejsou z prostředí firmy, ale pouze obecné, pro vysvětlení dané problematiky.

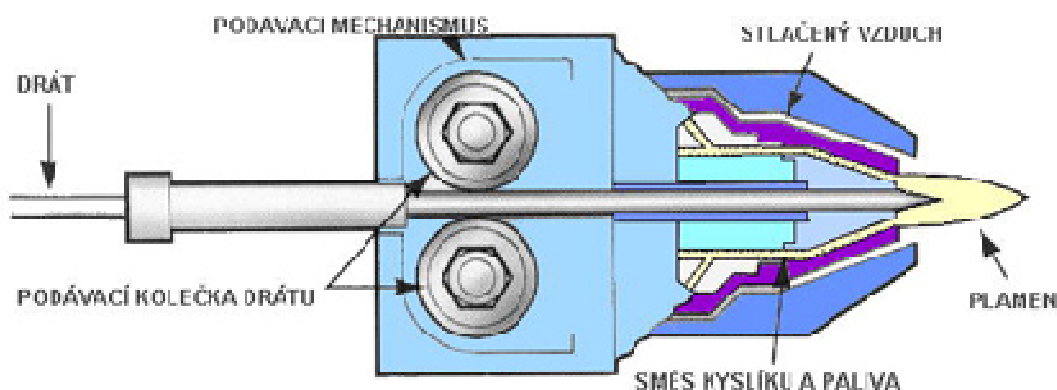
1.3.1 Představení procesu plazmového nástřiku

Technologie nanášení materiálů nástřikem patří do skupiny povrchových úprav, které se používají již dlouhou dobu.

Nanášení materiálu nástřikem je spojeno s využitím určitého druhu energie, nejčastěji tepelné. Proto je nazýváme žárově stříkané povlaky nebo žárové nástřiky. Na začátku byly žárové nástřiky využívány především jako ochrana nádrží a konstrukcí proti korozi, a také byly využívány při opravách opotřebených součástí strojů a zařízení. S vývojem nových materiálů a rozvojem technologie nanášení se podstatně rozšířila i oblast jejich využití.

K výhodám žárového nástřiku jako procesu patří zejména možnost vytvářet různé povlaky na různých materiálech a to i svými vlastnostmi velmi odlišnými. Dále možnost opatřit povlakem libovolně velkou plochu nebo jen její části. U některých metod nástřiku při využití automatizace nebo robotizace procesu nanášení umožňují vytvářet povlaky s takovou kvalitou povrchu a přesností, že není třeba už dále opracovávat.

K nevýhodám žárového nástřiku patří především malá odolnost povrchů proti úderům, malá přilnavost a odolnost proti kavitaci. Špatná obrobitelnost některých druhů nástřiků a další. Metody nanášení se podle zdroje dělí do dvou základních skupin. Nejstarší je nanášení pomocí plamene tvořeného směsí hořících plynů. Je známo už od roku 1910, kdy bylo Shopem vyrobeno první metalizační zařízení. Od té doby byla vyvinuta řada dokonalejších zařízení, která používají k natavení řadu plynů, jako je například kyslík, acetylen, vodík, propan, butan aj.



Obr.1 Schéma nanášení pomocí plamene tvořeného směsí hořících plynů [1]

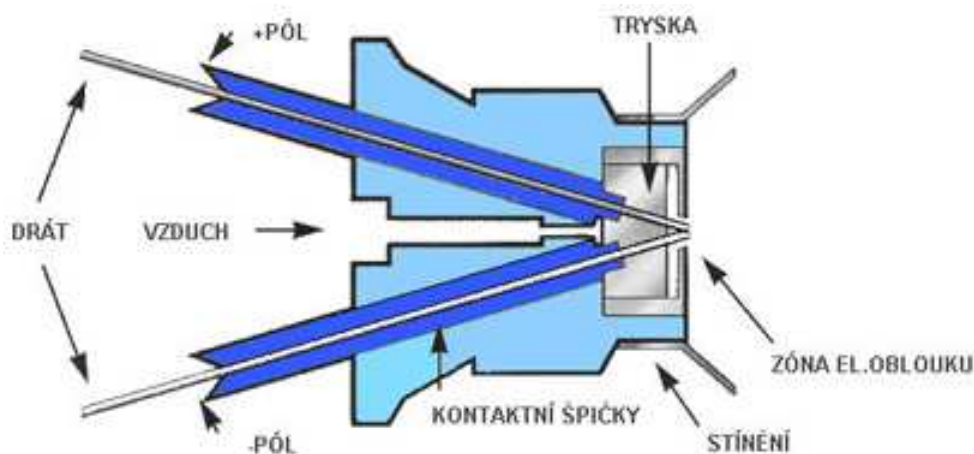


Obr.2 Obrázek nanášení pomocí plamene tvořeného směsí hořících plynů

Další metodou, kterou se budeme zabývat v této práci, je metoda využití elektrické energie k natavení přídavných materiálů. Nejvíce používanou metodou je oblouková metalizace, která využívá k natavení přídavného materiálu oblouku, hořícího mezi dvěma dráty přídavného materiálu. Pro nástřik elektrickým obloukem je nutné, aby materiál určený pro nástřik, byl elektricky vodivý a zároveň tvárný natolik, aby jej bylo možno vyrábět ve formě drátu. Tyto požadavky omezují rozsah materiálů hlavně na kovy, ačkoliv v současnosti vyvíjené tzv. trubičkové dráty umožňují i nástřik cermetů.

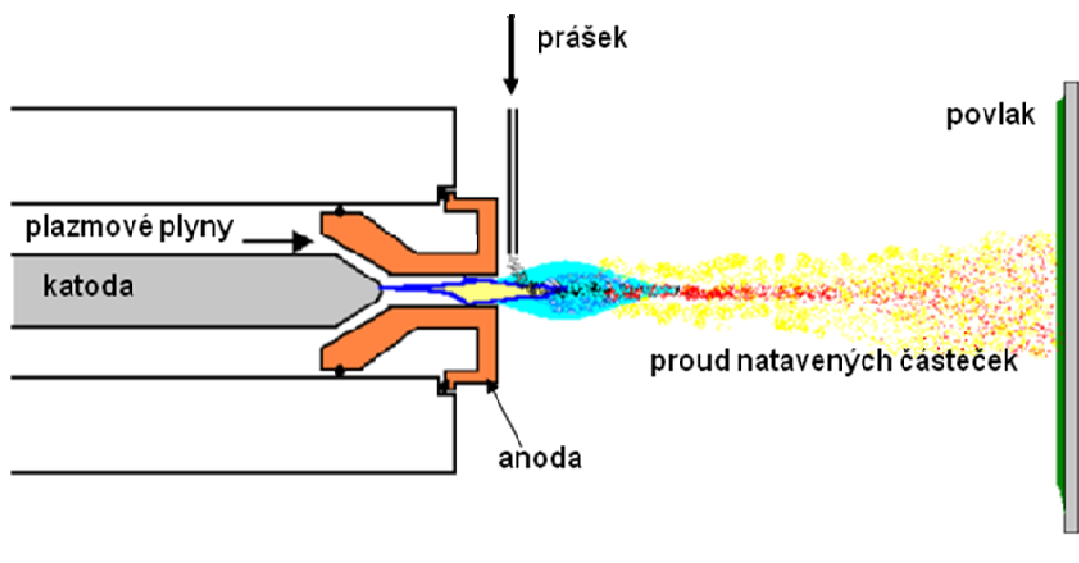
Typickou aplikací nástřiků elektrickým obloukem jsou povlaky odolné proti korozi - na bázi hliníku, zinku, mědi, či nerezové oceli - na mostní konstrukce, nádoby pro uchovávání kapalin, či komponenty námořních lodí.

Tato metoda používá přídavný materiál ve formě dvou drátů, mezi jejichž konci hoří elektrický oblouk. Vzniklá tavenina je rozprašována stlačeným plynem, obvykle vzduchem. Tím se vytvoří proud roztavených kapiček nanášeného materiálu dopadajících na povrch povlakované součásti.



Obr.3 Schéma Metody obloukové metalizace [1]

Další metodou této skupiny je plazmové stříkání. Výhodou tohoto procesu je, že dovoluje tavit všechny známé materiály, protože teplota plazmového paprsku v důsledku jeho koncentrace může dosáhnout až 50 000 K. To umožňuje pomocí plazmy nanášet i například těžkotavitelné kovy (IVa až VIIb skupiny periodické tabulky prvků), dále kysličníky kovů, karbidy, nitridy, boridy, směsi kovů a keramiky atd. Teplota plazmového paprsku závisí hlavně na používaném plazmovém plynu. Nejčastěji používané plyny jsou Ar, H, He a N nebo jejich směsi.



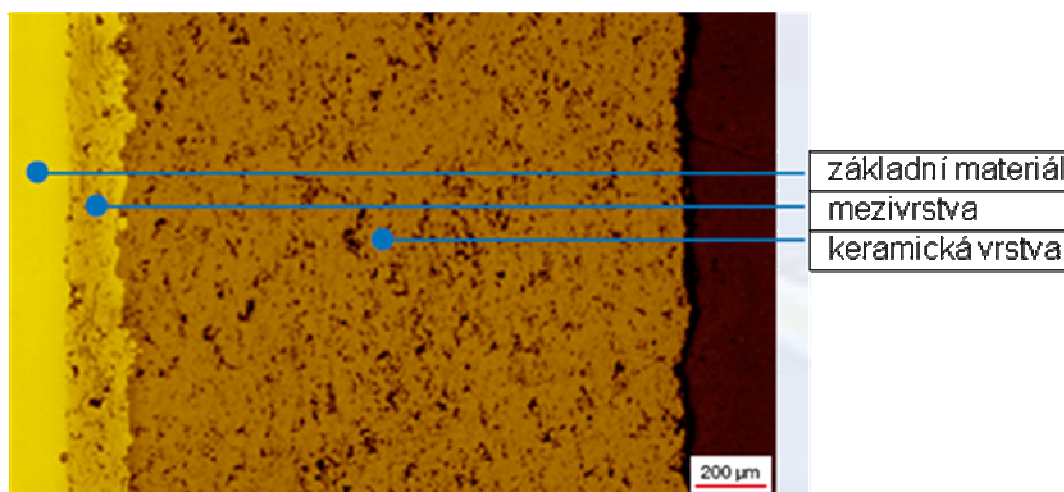
Obr.4 Schéma Metody plazmového nanášení

1.3.2 Druhy plazmových nástřiků

Plazmových nástřiků existuje obrovská škála. Popíšeme si tedy opět jen ty, které firma využívá při své výrobě.

POVLAKY TEPELNÝCH BARIÉR (TBC – Thermal Barrier Coatings)

- mají za úkol ochranu základního materiálu součástí proti vysokým teplotám pracovního prostředí a působení koroze a eroze spalinami
- používají se na tzv. teplé části leteckých motorů, jako např. části spalovacích komor, součásti obracející a usměrňující proud horkých spalin na lopatky turbíny za spalovací komorou a pod.
- tyto systémy se skládají z kovové mezivrstvy a funkční keramické vrstvy

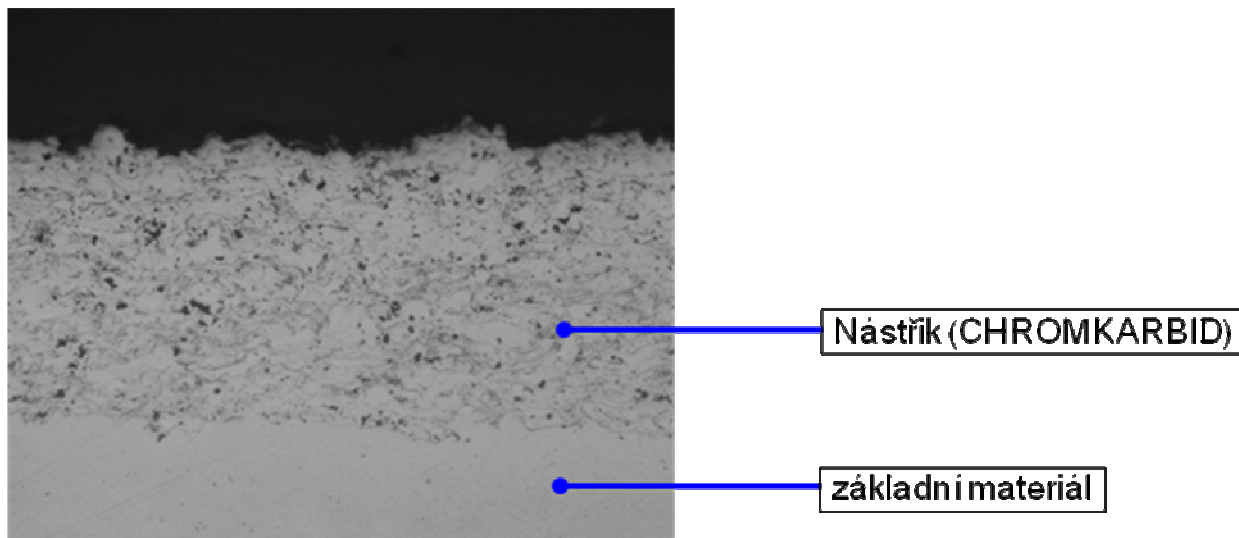


Obr.5 metalografický výbrus TBC nástřiku s popisem vrstev

POVLAKY ODOLNÉ PROTI OPOTŘEBENÍ

- jde o povlaky aplikované na plochy uložení dílců v sestavě leteckého motoru

- účelem těchto povlaků je zabezpečit vysokou životnost uložení a odolnost proti opotřebení
- povlaky musí být schopné plnit svoji funkci i při vysokých teplotách pracovního prostředí
- používají se hlavně povlaky na bázi karbidů chrómu a karbidů wolframu.

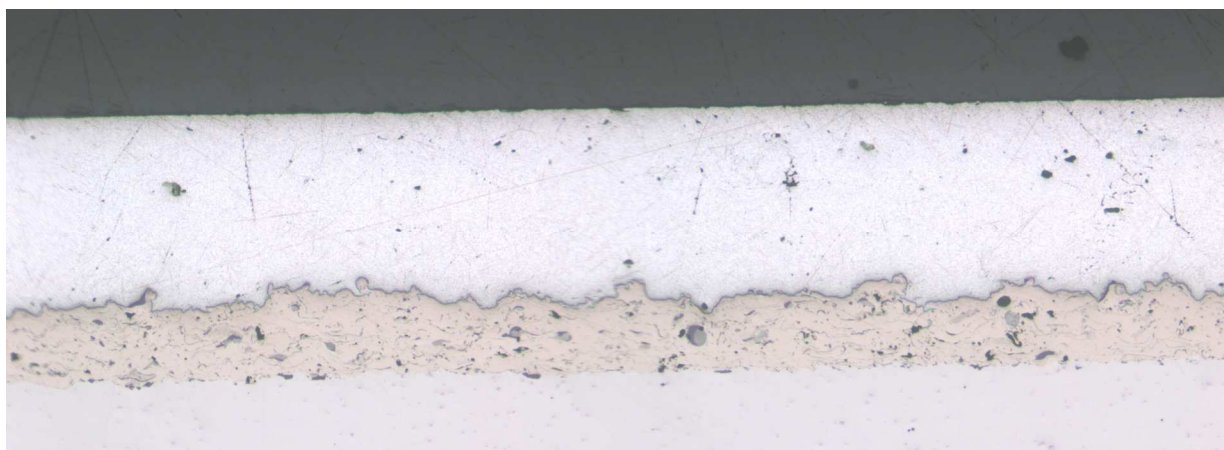


Obr.6 metalografický výbrus nástřiku

OBRUSITELNÉ TĚSNÍCÍ VRSTVY (ABRADABLE)

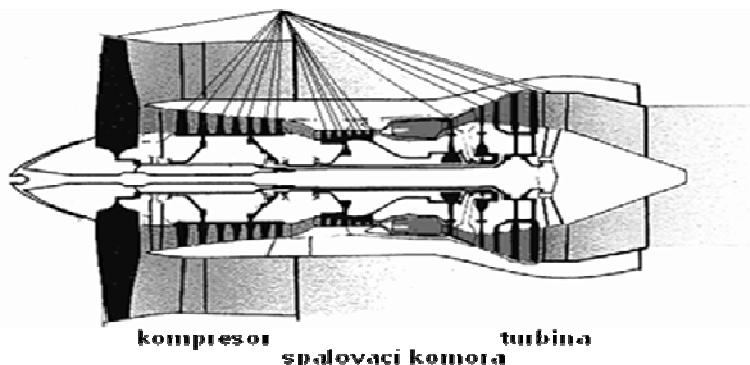
- tyto povlaky vymezují vůli mezi rotačními komponenty (lopatky, břity rotoru) a pláštěm
- dosáhnout co nejmenších ztrát a tím zvýšit účinnost a výkon celého systému.

Rotační součást během záběhu přizpůsobí tvar protikusu s povlakem dráze svého pohybu. Pro tyto účely se používají povlaky z hliníku, zirkonia, polyesteru či grafitu.



Obr.7 metalografický výbrus abradable nástřiku

použití obrusitelných vrstev



Obr.8 užití abradable nástřiků na součástkách leteckých motorů [2]

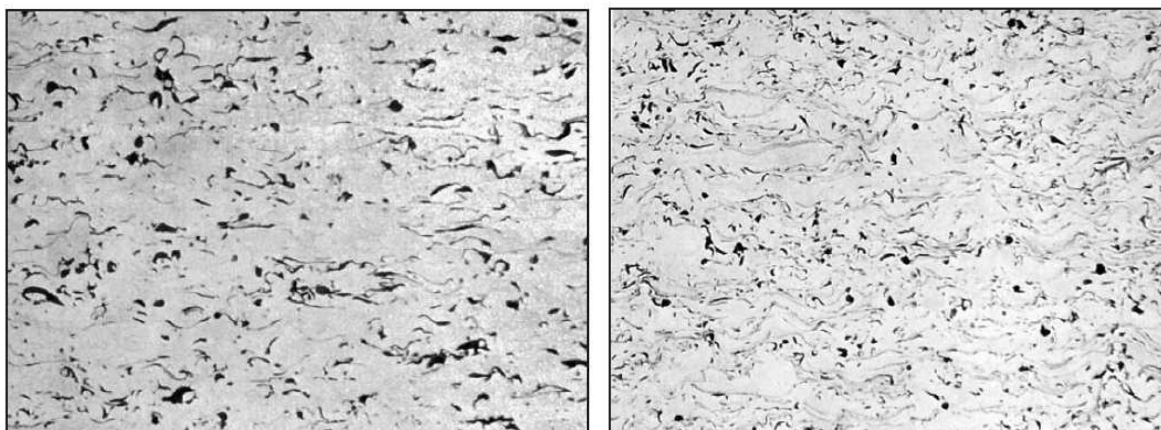
1.3.3 Plazmové nástřiky používané ve firmě

Plazmových nástřiků se ve firmě Honeywell používá přes 130 druhů. Představíme si pouze dva nástřiky, kterých se bude týkat tato bakalářská práce. Jedná se o druhy plazmových nástřiků s podkladovou vrstvou, která je z jiného materiálu, než vrchní vrstva. Tyto dva nástřiky mají stejnou podkladovou vrstvu tvořenou z materiálu, který se dodává ve formě prášku s označením METCO 480NS-NiAl.

U dílce č. 1 je jako vrchní vrstva nástřiku, který se dodává ve formě prášku, s označením METCO 52C-NS-AISI.

U dílce č. 2 je jako vrchní vrstva nástřiku, který se dodává ve formě prášku, s označením METCO 601NS-AISI+Polyester.

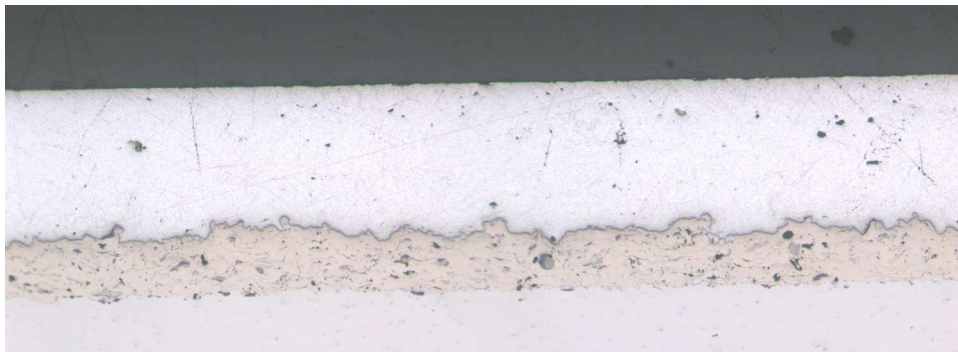
METCO 480NS-NiAl. Je to materiál, jehož složení je 4,5% Aluminium (hliník) a 95,5% Nickel (nikl). Výrobce Sulzer Metco. Tento materiál lze nanášet pomocí plynového hořáku i plazmového hořáku.



Obr.9 Vlevo Metco 480NS nástřik pomocí plamenového hořáku metalografický výbrus (100x zvětšeno).

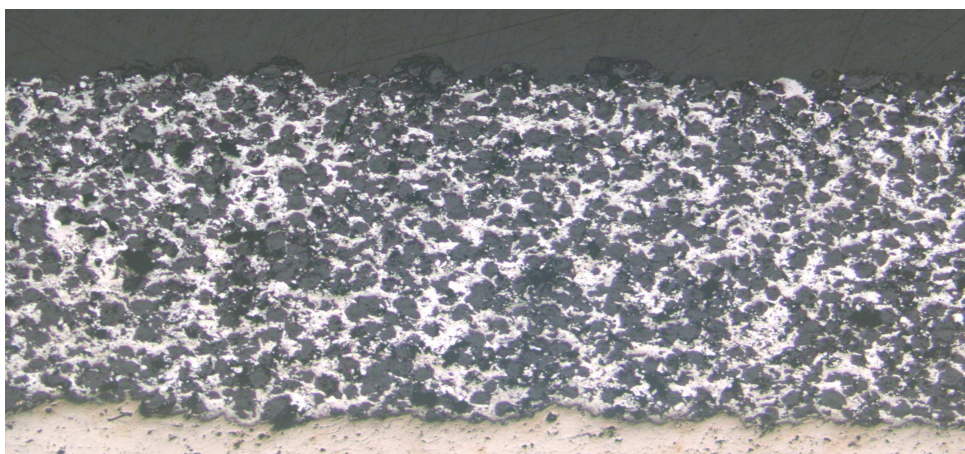
Vpravo Metco 480NS nástřik pomocí plazmového hořáku metalografický výbrus (100x zvětšeno).

METCO 52C-NS-ALSi jedná se o nástřík typu abradable. Je to materiál, jehož složení je 12% Silicon (křemík) a 88% Aluminum (hliník).



Obr.10 Metalografický výbrus (zvětšeno 25x)

METCO 601NS-ALSi+Polyester jedná se o nástřík typu abradable. Je to materiál, jehož složení je 72% Copper (měď), 14% Polyester, 8% Aluminum (hliník), 5% Organic Solids (organické tuhé složky) a 1% Iron (kovů).



Obr.11- Metalografický výbrus (zvětšeno 25x)



2. Problematika obrábění plazmových nástřiků

Při využívání a exploataci povlaků nanesených žárovým nástřikem má nemalou roli povrch vytvořených povlaků, popřípadě opracování povrchu. Obecně lze uznávat zásadu, že pokud není vyloženo opracování povlaku nutné, tak ponecháme nejraději povrch ve stavu po nástřiku. Pro tento požadavek hovoří několik dobrých a opodstatněných důvodů.

1. Především je nutno velmi reálně (zejména u keramických povlaků) počítat s tou skutečností, že v přilnavosti povlaků má významnou úlohu složka mechanického zakotvení těchto povlaků k povrchu podložky. Každý zásah do povrchu relativně slabého povlaku může významně přispět k porušení nebo alespoň narušení mechanického zakotvení.

2. Každé mechanické opracování povrchu spočívá v odebírání menší či větší tloušťky naneseného materiálu, což jednak vede k vnesení napětí do povlaku a v každém případě k přeskupení již existujícího napětí v povlaku.

3. Povlaky nanesené žárovým nástřikem se skládají v podstatě z jednotlivých deformovaných částic přídavného materiálu deponovaných na sebe, a v každém případě z určitého množství pórovitosti. Při mechanickém opracování takové skladby povlaku je nutno počítat ve styku nástroj, povlak s přerušovaným řezem, což nese s sebou další nepříznivé důsledky spočívající v rázovém působení na povlak.

4. V důsledku dříve popsaných oxidačních a jiných fyzikálně chemických pochodů se skládají povlaky většinou z velmi tvrdých a křehkých fází, které samy o sobě přinášejí při jejich mechanickém opracování značné obtíže.

5. Mechanickým opracováním nanesených povlaků se ztrácí jedna z významných předností žárového nástřiku, kterou je vytváření tenkých povlaků na určitých místech povrchu součástí nebo dílce, bez následného mechanického opracování povlaků, čímž dochází k úsporám pracnosti a mnohdy i deficitního a ekonomicky nákladného materiálu povlaků. [2]

Drsnost povrchu nanesených povlaků

Vzhledem k tomu, že struktura naneseného povlaku je složena z deformovaných částic naneseného přídavného materiálu, je drsnost povrchu velmi výrazně ovlivněna trnitostí a granulometrickým složením přídavného materiálu. Obecně lze konstatovat, že čím větší jsou částice nanášeného materiálu, tím větší je drsnost povrchu naneseného povlaku. Ku prospěchu celé věci je, že většinou je drsnost po nástřiku dostačující pro funkční použití povlaků. Tato skutečnost vedla výrobce přídavných materiálů k tomu, že vyrábějí různé zrnitosti přídavných materiálů, od hrubých až do velmi jemné.

Drsnost povrchu nanesených povlaků, ať již ve stavu po nástřiku nebo po mechanickém opracování, je odlišná od drsnosti povrchu homogenních materiálů, a proto nelze používat stejných etalonů pro vzhled a drsnost povrchu, jaké se používají při obrábění homogenních materiálů. [2]

Mechanické opracování povlaků

V případech, kdy je požadována co nejmenší drsnost povrchu vytvářených povlaků nebo přesné rozměry povlakované součásti, je nutné provést mechanické opracování povrchu povlaků.

Přídavky na mechanické opracování povlaku se řídí podle drsnosti povrchu ve stavu po nástřiku a lze říci, že jsou také závislé na technologické metodě žárového nástřiku.



Soustružením lze obrábět pouze povlaky nanesené žárovým nástřikem mající poměrně dobré plastické vlastnosti a nízkou tvrdost. Typickými materiály, u nichž lze dosáhnout dobrých výsledků, jsou povlaky čistého hliníku nebo bronzu (CuSn6, CuAl). Při soustružení je však nutné použít vyšší řezné rychlosti a malého posuvu. Příklad podmínek soustružení povlaků hliníku naneseného žárovým nástřikem plazmou je uveden v tabulce. Rozhodně však nelze použít soustružení v případě přerušovaného řezu.

Snaha pro dosažení maximálního ekonomického efektu při mechanickém obrábění nanesených povlaků vedla k ověřování možnosti soustružení povlaků nanesených dalšími, dokonce keramickými materiály.

Nejpoužívanějším způsobem a metodou opracování nanesených povlaků žárovým nástřikem je obrábění. Tento způsob opracování používá zejména u povlaků keramických, ale i takových materiálů, jako je molybden.

Ze všech způsobů mechanického opracování povlaků nanesených žárovým nástřikem doznalo největšího rozšíření broušení. U keramických povlaků pak diamantovým nástrojem. Ve všech případech broušení je třeba používat intenzivního chlazení. Špatné chlazení a jeho nepoužití vede ke vzniku sítě povrchových trhlin v povlacích, zejména keramických [2] .

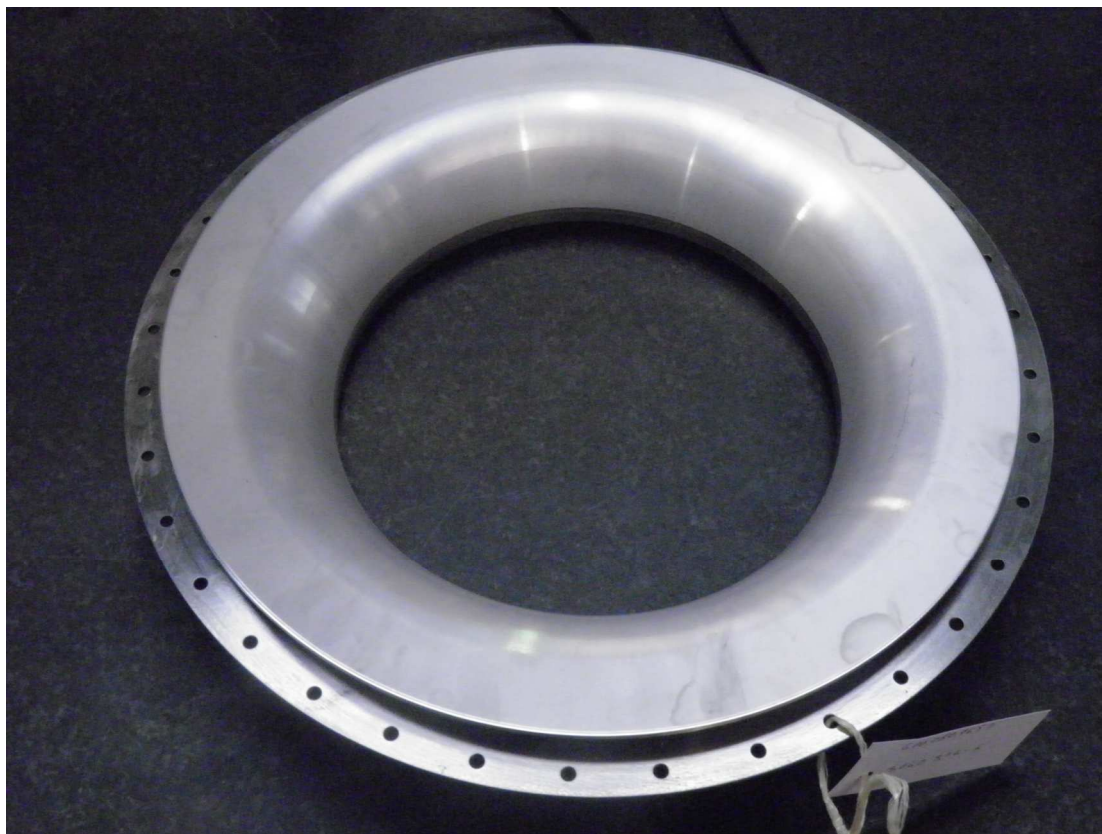
Tabulka.1 – Podmínky soustružení povlaku hliníku naneseného plazmou [2]

Soustružený materiál	Řezná rychlost (m*min ⁻¹)		Hloubka řezu (mm)		Posuv (mm*ot ⁻¹)	
	Nástroj rychlořezná ocel	Nástroj slinutý karbid	Hrubování	Dokončová ní	Hrubován í	dokončování
Hliník (povlak)	145 až 200	300 až 640	3,0 až 4,0	0,5 až 1,0	0,3	0,15

3.Problematický dílec č.1

3.1. Dílec č. 1, popis dílce a vzniklého problému.

Vzhledem k tomu, že většina informací ve firmě Honeywell podléhá utajení a to výrobnímu, vojenskému nebo obchodnímu, popíšeme si u dílce pouze informace potřebné pro tuto studii plazmovacího a obráběcího procesu. Nebudou zde zveřejněny žádné výkresy, ani rozměry, které by mohly toto utajení porušit. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o rotační součást, jejíž základ je odlitek z materiálu Inco 718. Naše řešená část tohoto dílce je kontura, na které je nanesen plazmový nástřík, který se skládá z podkladové vrstvy, která je stříkána pomocí plazmového nanášení materiálu METCO 480NS-NiAl. Jako vrchní vrstva se používá materiál METCO 52C-NS-AlSi. Složení těchto dvou prášků je popsáno v kapitole 1.3.3. Dále se tento materiál obrábí třískovým obráběním na soustruhu karuselového typu. Tento dílec začala firma vyrábět v rámci převodu výroby z amerického Phoenixu v Arizoně.



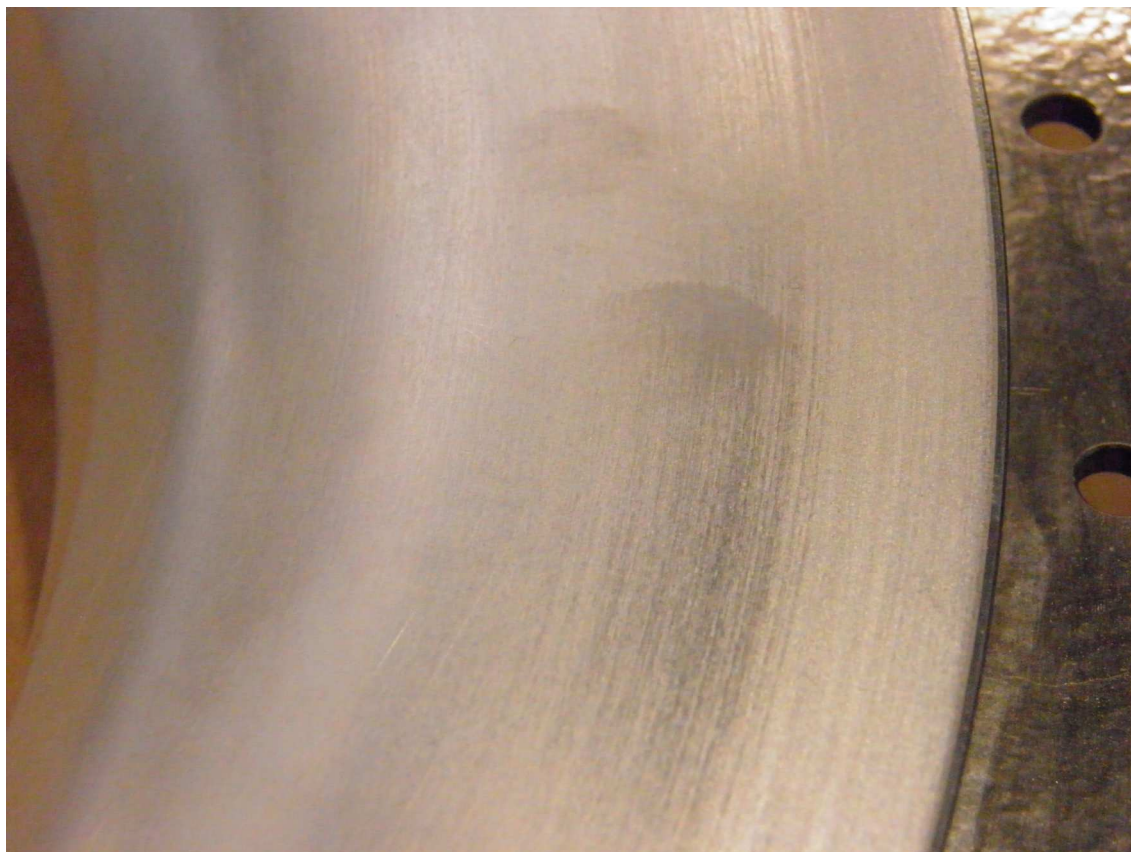
Obr.12- Fotografie dílce č.1

Popis řešeného problému – Na dílci se na vrchní části kontury vytvářel pruh o šířce 1 až 5 mm, který měl zjevně jinou drsnost, než ostatní obráběná část této kontury. Jelikož u dílce byla předepsána vizuální kontrola obrobeného povrchu, a jiná drsnost měla za následek jiný vzhled této části, byly dílce označovány jako neshodné a musely se opravovat. Výhodou plazmového nástříku je možnost opravení nástříku opětovným nanesením. V tomto případě zákazník vyžadoval úplné odstranění původního nástříku a opětovné nanesení obou vrstev. Vyskytnutý problém s kvalitou obrobeného povrchu mohli způsobovat procesy plazmování



nebo obrábění. K vyřešení tohoto problému byl proto svolán řešitelský tým, který se skládal z technologa, který měl dílec na starosti, p. Přemysla Janalíka, technologa plazmovacího procesu p. Josefa Štourače a technologa obráběcího procesu soustružení ing. Libora Zubíčka. Těchto schůzek jsem se aktivně účastnil, abych mohl shromažďovat informace potřebné k napsání této práce. Na první schůzce se dohodli, že si každý za svůj proces připraví vstupy, které by mohly ovlivňovat kvalitu procesu. Tyto vstupy a návrhy na řešení si popíšeme v dalších kapitolách.

Dosavadní výroba tohoto dílce a její úspěšnost. Schůzky byly svolány na základě faktu, že z dávky 15 kusů neprošlo 11 kusů závěrečnou kontrolou, která u tohoto dílce byla ihned po operaci obrábění vyšetřované kontury, jelikož to byla poslední výrobní operace. Těchto 11 kusů se muselo opravit, a to tak, že musel být odstraněn nástřik až na základní materiál a opětovným plazmováním nanesen nový nástřik. Zbylé 4 kusy byly poslány zákazníkovi na výjimku, protože pruh se změnou drsnosti nebyl tak výrazný a zákazník akceptoval jeho zhoršenou kvalitu.



Obr.13 Fotografie zachycující vadu po obrobení nástřiku

3.2. Plazmovací proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu

U procesu plazmování bylo nevýhodou to, že proces plazmování byl kontrolován a schválen zákazníkem, a jakoukoliv změnu provedenou v tomto procesu, by musel schválit i



zákazník. V podstatě by se jednalo o to, že při změně tohoto procesu, by se musel vytvořit tzv. schvalovací balíček, který by musel obsahovat metalografické výbrusy, zkoušky přilnavosti, zkoušky tvrdosti a další informace potřebné pro schválení změny v procesu nástřiku. Tato procedura by dle vyjádření technologa plazmování mohla trvat i několik měsíců.

Vstupy, které mohou ovlivnit plazmovací proces.

1. Opotřebením trysky, elektrody a injektoru.
2. Proud vzduchu ovlivňující plazmový plamen.
3. Úhel nanášení.
4. Dostatečně otryskaný povrch.
5. Přítomnost nečistot na povrchu stříkané plochy před nástřikem.
6. Program stroje, dávkování, množství přídavných plynů, parametry nástřiku.

Tyto vstupy byly označeny, protože by mohli ovlivnit kvalitu plazmovacího procesu. Na další schůzce se dohodli, že tyto vstupy prověří, aby vyloučili nedodržování pracovního postupu operátorem plazmování, nebo špatně a neúplně napsaný postup této operace.

Z pozorování těchto možných vstupů u pěti sledovaných dílců byly podniknuty tyto opatření:

1. Před každým započítím procesu kontrolovaného dílce byla v plazmovacím hořáku vyměněna elektroda a injektor.
2. Bylo fotograficky zdokumentováno přesné nastavení chladících trysek a bylo kontrolováno zda je opětovně stejně nastaveno.
3. Úhel nanášení nemohl být měněn, jelikož se jednalo o parametr procesu, který byl pod dohledem zákazníka a nebylo možné jej měnit bez schvalovacího procesu. Úhel nanášení byl řízen robotem KUKA
4. Dostatečně otryskaný povrch před plazmovací operací byl kontrolován u těchto pěti dílců technologem plazmování před započítím procesu.
5. Přítomnost nečistot na povrchu stříkané plochy před nástřikem. Byla také kontrolována technologem před započítím procesu.
6. Program stroje nemohl být měněn, jelikož se jednalo o parametr procesu, který byl pod dohledem zákazníka a nebylo možné jej měnit bez schvalovacího procesu.

Výsledek pozorování: nebylo nalezeno žádné zjevné pochybení operátorů nebo postupů, dále nebyly nalezeny vady na tryskaném povrchu před plazmováním a ani žádné nečistoty. Program robota i zařízení byl překontrolován a zkalibrován. S touto informací byla kontrolní dávka pěti kusů předána na další operaci soustružení.

3.3. Obráběcí proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu

Tento proces nebyl kontrolován zákazníkem, takže se parametry procesu mohly změnit. V rámci převodu dílců z amerického Phoenixu v Arizoně sem byly přivezeny i stroje a přípravky, které se používaly při výrobě těchto součástí. Pro výrobu tohoto dílce používaly numericky řízený soustruh karuselového typu, s otáčecí nástrojovou hlavou. Soustruh byl značky MOTCH s označením 125 VNC. Ve stroji byl také nahrán program, který používali pro obrábění této součásti. Bohužel se nepodařilo zjistit s jakou úspěšností, a jakými výsledky kvality povrchu kontury obráběly tyto dílce před převedením výroby, a zda jejich kontroloři popsanou vadu uznávaly jako neshodu nebo ji pouštěli dál. Ale při obrábění 15 kusů zavedených do výroby, se tato vada vyskytla na všech kusech a pro obrábění byl použit stejný postup i s programem i obráběcími nástroji a přípravkem.



Obr.14 Fotografie soustruhu MOTCH 125 VNC (tato fotografie není z prostředí firmy Honeywell je pouze pro představu, jak stroj vypadá) [www.aukro.cz]

Fotografii přípravku a způsob upnutí dílce ve stroji nelze zveřejnit.

Vstupy, které mohou ovlivnit obráběcí proces

- 1 . otupený nástroj
- 2 . řezná rychlost
- 3 . hloubka třísky
- 4 . posuv
- 5 . řezný nástroj
- 6 . změna řezných podmínek
- 7 . chyby v CNC programu
- 8 . vibrace stroje či obrobku

Tyto vstupy byly označeny, že by mohly ovlivnit kvalitu obráběcího procesu. Na další schůzce se dohodli, že tyto vstupy prověří, aby vyloučili nedodržování pracovního postupu operátorem obrábění, používání předepsaných obráběcích nástrojů atd. Z pozorování těchto možných vstupů u pěti sledovaných dílců byly podniknuty tyto opatření:

- 1 . Před každým započatím procesu kontrolovaného dílce byla vyměněna břitová destička za novou.
- 2 . Byl porovnán program se zálohou , zda nedošlo ke změně oproti zálohovanému programu.



3 . Kontrola CNC programu, zda neobsahuje chyby, měření nastavených otáček a porovnání se skutečnými.

4 . Prověření uchycení dílce v přípravku a přípravku ve stroji.

5 . Prověření používání správných nástrojů a správného postupu při výrobě.

Výsledek pozorování: nebylo nalezeno žádné zjevné pochybení operátora, stroje, programu či použití nepředepsaného nástroje.

3.4. Zhodnocení procesů a návrh na řešení problému

Po obrobení kontrolní dávky pěti kusů pod dohledem, zda je dodržován pracovní postup, a kontrolovány vstupy, které by mohly ovlivnit kvalitu procesů, byli výsledky úspěšnosti následující: vada se vyskytla na všech sledovaných kusech. Podrobněji popsáno v tabulce.

Tabulka.2 – výsledky sledované skupiny dílců

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Počet kusů v zakázce	Vyskytnutá vada, popis vady	Drsnost naměřená na dobře obrobené ploše Ra	Drsnost naměřená v místě výskytu vady Ra
238	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 3-5 mm	1,38	1,96
239	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 2-6 mm	1,32	1,87
256	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 2-5 mm	1,32	2,04
274	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 3-5 mm	1,39	1,71
276	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 2-3 mm	1,30	1,94

Jelikož nebylo u obou procesů nalezeno žádné pochybení nebo nedodržení pracovního postupu, a přesto docházelo ke 100% výskytu neshody na dílci, byly procesy vyhodnoceny jako nevyhovující. Začala se řešit náprava ve formě kontroly stávajícího stavu procesu a jejich úprava. Na další schůzce se sepsala myšlenková mapa, která zachycovala vstupy, které by mohly tento problém způsobovat. Byla zaměřena na oba dva procesy, a to nejdříve na plazmovací proces a po té na obráběcí proces. Dále si popíšeme návrhy, kontrolu a změnu v jednotlivých procesech a sledování úspěšnosti po obrobení kontrolních dávek. Tyto dávky byly domluveny na pět kusů, aby reprezentovaly úspěšnost procesu a ne jen náhodné zlepšení.

Hlavní body návrhu na kontrolu a zlepšení za proces plazmování.

1 . Kontrola kvality nástřiku pomocí metalografického výbrusu na vzorku vyříznutého přímo z kontury dílce. Dílec je stříkán zároveň se vzorkem, který se posílá na vyhodnocení do



laboratoře. Tímto krokem bylo potřeba také ověřit, zda vzorek odpovídá nástřiku na dílci, a jestli mezi nimi nejsou nějaké odchylky v kvalitě nebo struktuře.

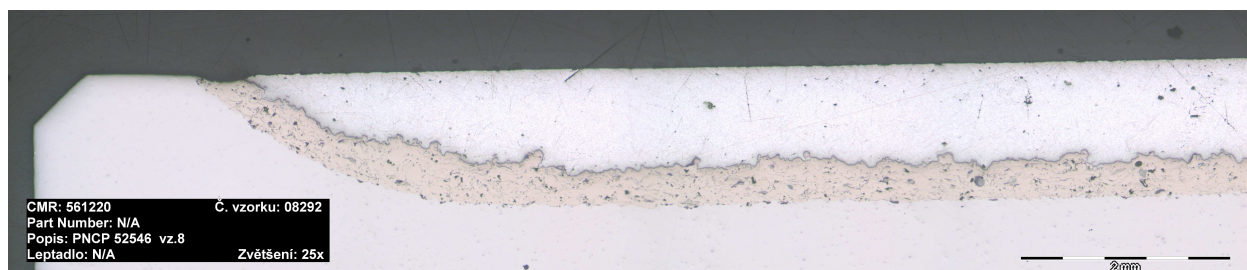
2 . Kontrola tvrdosti nástřiku, zda odpovídá doporučení výrobce, a zda nedochází ke změnám tvrdosti na jednotlivých částech nástřiku.

3 . V případě, že by byl v prvních dvou bodech učiněn nějaký nález ovlivňující kvalitu nástřiku, muselo by dojít k opětovnému odlazení nástřiku a vytvoření schvalovacího balíčku, který by byl zaslán zákazníkovi na schválení.

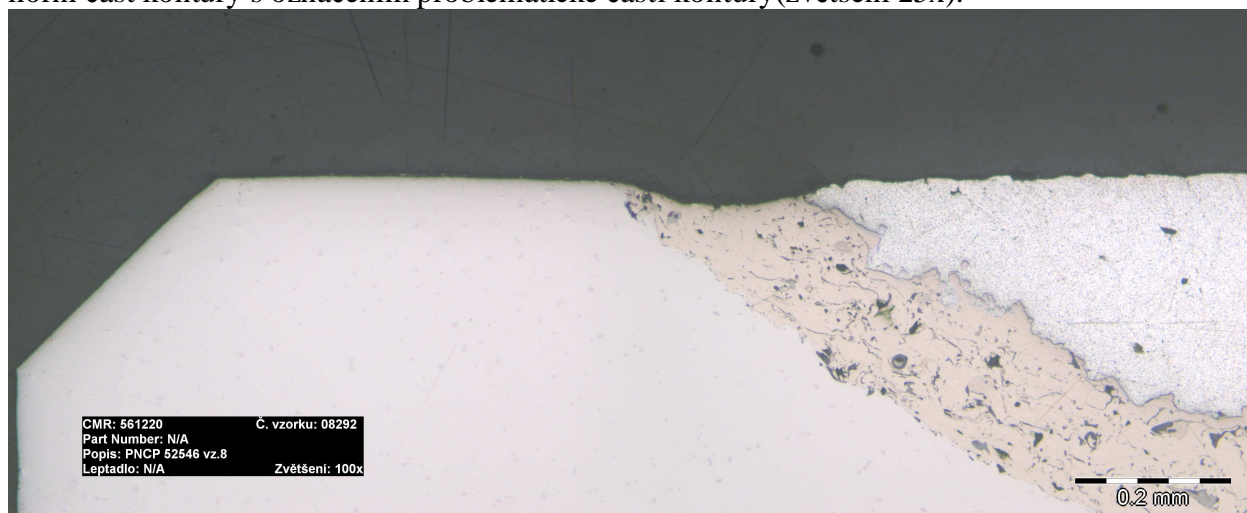
Vyčlenili dílec, na kterém by bylo možné udělat technologické zkoušky. Ty se skládaly z těchto činností :

- a) Naplazmování dílce
- b) Obrobení dílce
- c) výřez v kontuře dílce pomocí drátové řezačky
- d) vytvoření metalografického výbrusu problematické části kontury
- e) vyhodnocení výsledků

Pro názornost si předvedeme pouze fotografie metalografického výbrusu z horní a spodní části kontury



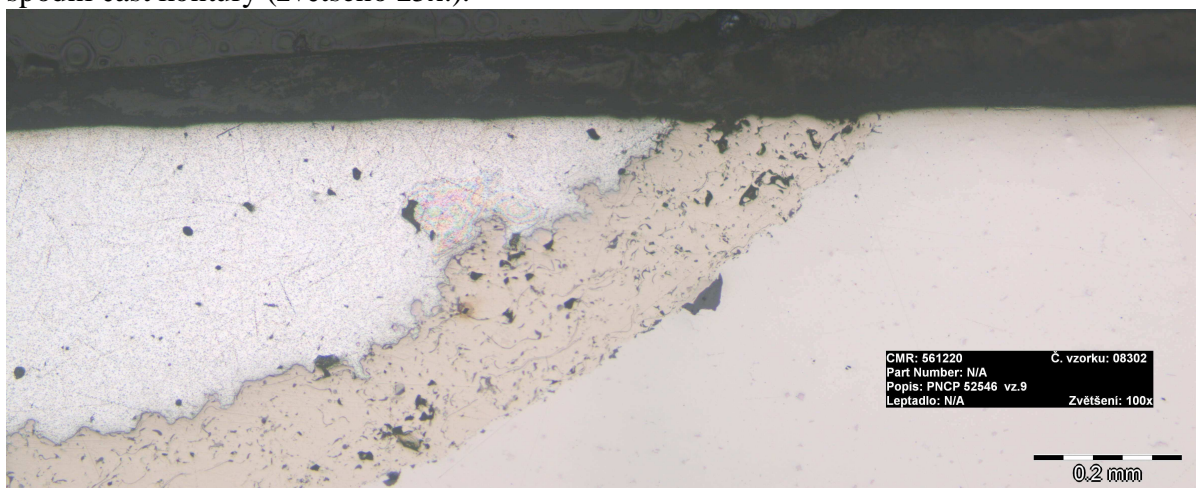
Obr.15 Fotografie metalografického výbrusu kusu určeného k technologickým zkouškám horní část kontury s označením problematické části kontury(zvětšení 25x).



Obr.16 Fotografie metalografického výbrusu kusu určeného k technologickým zkouškám horní část kontury (zvětšeno 100x) zaměřeno na problematickou oblast.



Obr.17 Fotografie metalografického výbrusu kusu určeného k technologickým zkouškám spodní část kontury (zvětšeno 25x.).



Obr.18 Fotografie metalografického výbrusu kusu určeného k technologickým zkouškám spodní část kontury (zvětšeno 100x) zaměřeno na přechod plazmového nástřiku na základní materiál.

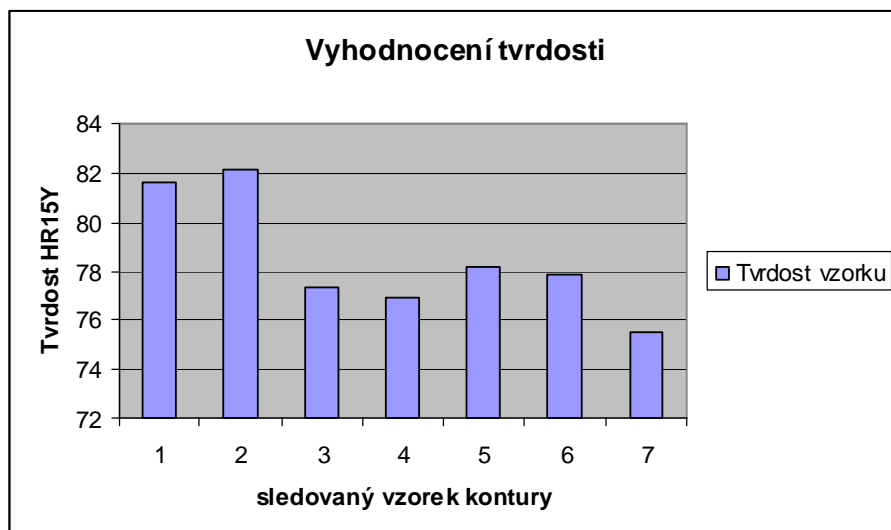
Zhodnocení: Z metalografických výbrusů je zřejmé, že nástřík nevykazuje žádné vady ani defekty. Struktura i složení odpovídá požadavkům zákazníka dle etalonu pro vyhodnocování tohoto nástřiku. Není tedy potřeba na této části procesu nic měnit, a můžeme udělat závěr, že kvalita nástřiku jeho struktura a složení nemá vliv na neshodu, která se na dílci objevuje. Vzorky stříkané zároveň s dílcem měly stejnou strukturu i složení, jako vzorky vyřezané přímo z kusu. Můžeme proto považovat vzorky jako dostatečně reprezentující vlastnosti nástřiku pro zkoušky měření tvrdosti dávky. Přejdeme tedy k bodu 2 - kontrole tvrdosti a porovnáním s doporučením výrobce.

2 . V prvním bodě jsme vyzorovali, že vzorky dostatečně reprezentují nástřík na dílci, proto k měření tvrdosti můžeme tyto vzorky použít. Dle výrobce se měření tvrdosti provádí dle stupnice HR15Y a může se pohybovat v rozmezí 60 až 90° HR15Y. Měření provedeme dva druhy, a to jedno měření po celé délce struktury rozdělené na 6 částí a 7 část bude vzoreček. Viz. Tabulka č. 3, a dále vyhodnocení vzorečků z dávky pěti kusů.

měření tvrdosti HR15Y

vz.1	79,2	82,5	81,7	82,4	82,2	81,6
vz.2	84,0	81,2	80,3	82,1	82,7	82,1
vz.3	78,2	73,0	81,0	77,2	77,7	77,4
vz.4	73,5	78,5	82,5	75,7	74,3	76,9
vz.5	77,3	81,2	80,7	74,0	77,8	78,2
vz.6	78,3	79,0	81,5	77,6	72,9	77,9
vz.7	72,0	78,4	76,6	75,1	75,3	75,5

Tabulka.3 – výsledky tvrdosti kontury rozřezané na 6 částí, 7 část je vyhodnocení tvrdosti vzorečku naskenované z výsledku laboratorního měření.

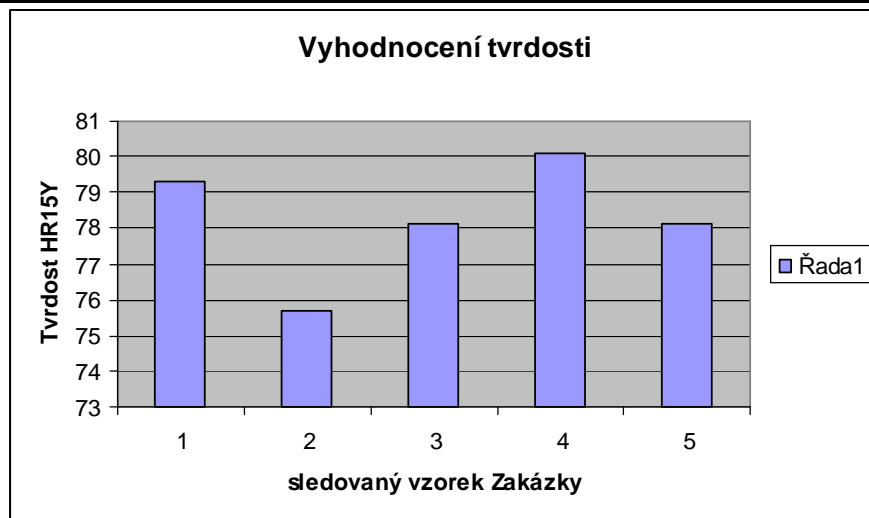


Graf. 1 - Výsledky měření tvrdosti na kontuře dílce.

Z tabulky č.3 a grafu č.1 je patrné, že hodnoty odpovídají doporučení výrobce nástřikových materiálů a pohybují se v určené hranici 60 až 90° HR15Y. A je zřejmé, že se tvrdost nemění v různých místech kontury a zůstává zachována. Z toho lze vyvodit závěr, že ani tento parametr nástřiku nemá vliv na objevování se neshody na dílci. Dále vyhodnotíme tvrdost na vzorečkách sledované dávky 5 kusů. A porovnáme je mezi sebou, protože jsme zjistili, že i v měření tvrdosti vzorečky dokážou dostatečně reprezentovat nástřik na dílci.

Tabulka.4 – Výsledky tvrdosti vzorečků ve sledovaných zakázkách.

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Vypočítaná průměrná tvrdost z měření vzorku z 5 měření HR15Y
029	79,3
030	75,7
107	78,1
124	80,1
216	78,1

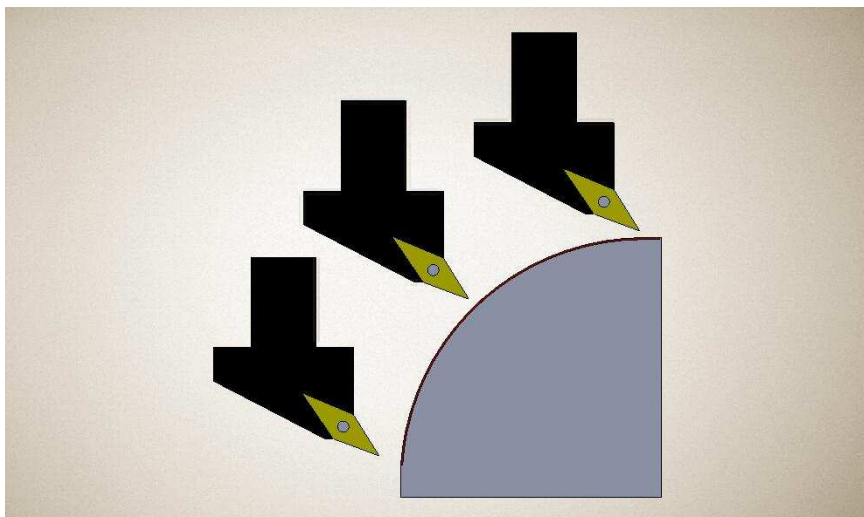


Graf. 2 - Výsledky měření tvrdosti v kontrolované dávce 5 kusů.

Z grafu č. 3 a tabulky č.4 je patrné, že hodnoty odpovídají doporučení výrobce nástřikových materiálů a pohybují se v určené hranici 60 až 90° HR15Y. A je zřejmé, že se tvrdost nemění ani na různých kusech ve sledované dávce. Krok 3 tedy můžeme vynechat, protože nebyly nalezeny žádné důvody pro změnu parametru nástřiku.

Hlavní body návrhu na kontrolu a zlepšení za proces plazmování.

1 . Jako první úvaha za proces obrábění byl vliv změny řezného nástroje na kvalitu procesu. Jak už bylo řečeno, obráběcí CNC program byl přivezen v rámci převodu zároveň se strojem a také postupem, doporučeným nástrojem a také přípravkem. Už při prvním pohledu na tvar kontury viz. Obr č.19.je zřejmé, že se podmínky řezného procesu mění během řezného procesu.



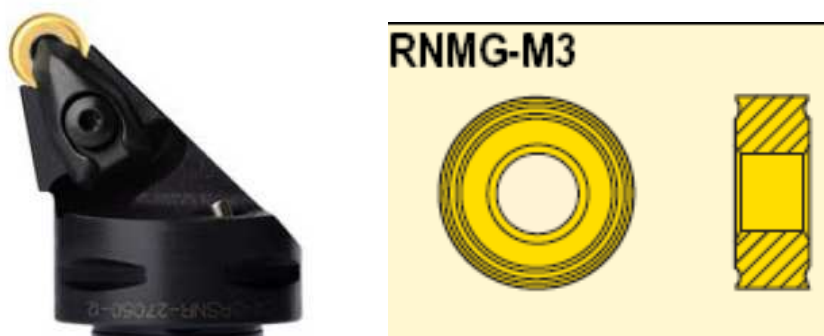
Obr č.19 Náskres stávajícího stavu obrábění kontury.

Proto byla technologem obrábění navržena změna řezného nástroje, a to jak držáku nástroje, tak i břitové destičky z původního, který nesl označení Držák SDJCR a břitová destička DCGT-AL od výrobce SECO.

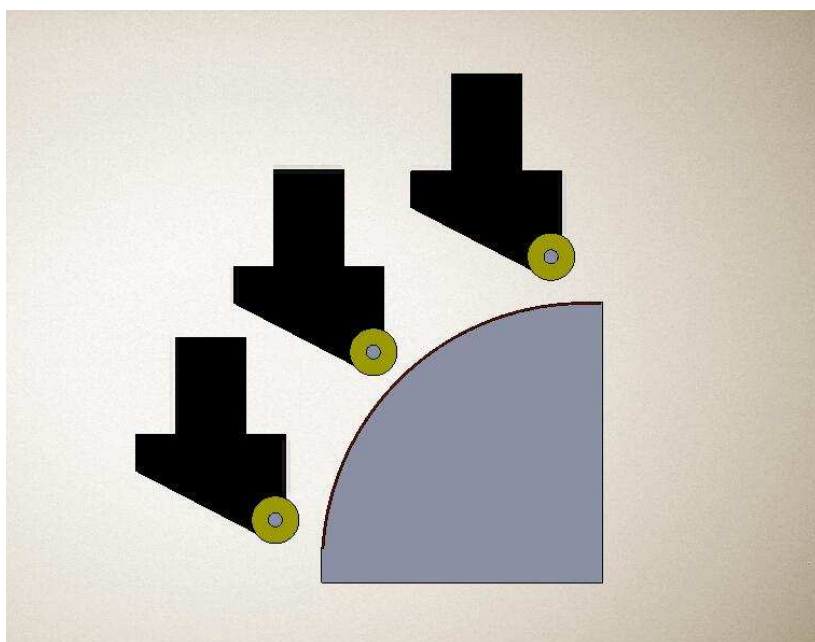


Obr č.20 Stávající nástroje používané na obrábění kontury. [katalog SECO]

Navrhl nástroj, který by zajišťoval konstantní podmínky pro obrábění kontury dílce a ne proměnné, jak tomu bylo doposud, protože stávající držák je konstruován pro obrábění rovinných ploch a ne kontur. Navrhl tedy nástrojový držák také od firmy SECO s označením DRSNR určeného pro břitové destičky RNMG-M3. Jedná se o držák na kulaté břitové destičky, který je konstruován na obrábění kontur.



Obr č.21 Navrhované nástroje na obrábění kontury. [katalog SECO]



Obr č.22 Náskres navrhovaného stavu obrábění kontury.



Kontrolovaná dávka 5 kusů, u které byla z plazmovacího procesu ověřena struktura a změřena tvrdost, se obráběla s výsledky uvedenými v tabulce č.5.

Tabulka.5 – Výsledky sledované skupiny dílců po změně obráběcího nástroje.

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Počet kusů v zakázce	Vyskytnutá vada popis vady	Drsnost naměřená na dobře obrobené ploše Ra	Drsnost naměřená v místě výskytu vady Ra
029	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 5-9 mm	1,26	1,81
030	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 5-11 mm	1,31	1,91
107	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 3-5 mm	1,47	1,97
124	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 4-6 mm	1,20	1,97
216	1	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 3-5 mm	1,36	1,94

Z výsledku je patrné, že změna nástroje neměla významný vliv na vyskytovanou neshodu, pouze se o nepatrné hodnoty zmenšila drsnost povrchu. Ale na druhou stranu, se zvětšila oblast vyskytované vady. Z důvodu složitého měření nástrojů v postupech, bylo proto od této změny upuštěno, a pokračovalo se dalším návrhem na optimalizaci procesu se stávajícím držákem a břitovou destičkou.

2 . Dalším krokem, který byl navržen, byla optimalizace řezných podmínek, a to změnou řezné rychlosti, posuvu a hloubky třísky. Program CNC byl původně vytvořen dle interního předpisu, který doporučoval řeznou rychlost 500 stop za minutu. Tato rychlost byla v programu nastavena jako konstantní, protože se jednalo o obrábění kontury, která měnila svůj průměr. Doporučené hodnoty pro posuvy byly pro hrubování 0,010 inch pro hrubování a 0,005 inch pro finišování. Při úvaze, že se jedná o materiál, který se skládá z hliníku 88% a křemíku 12% tedy o materiál svým složením velmi podobný standardně obráběným slitinám hliníku, které se obrábí mnohem vyšší řeznou rychlostí, než doporučovala interní směrnice. Na druhou stranu se jednalo o plazmový nástřik, jehož doporučené řezné rychlosti jsou poněkud nižší, než u slitin hliníku z křemíkem. Dalším návrhem tedy bylo zjištění vlivu zvýšení řezné rychlosti a snížení posuvu na kvalitu povrchu a drsnost. U posuvu jsme se rozhodli, že budeme upravovat pouze posuv finišovací části programu, protože tato část programu má zásadní vliv na kvalitu (drsnost) povrchu. Posuv hrubovací části programu tedy necháme zachovaný na hodnotě 0,010 inch. Abychom zjistili vliv různých řezných podmínek, domluvili jsme se, že budeme u sledované dávky 5 kusů měnit tyto parametry u každého kusu. Parametry a výsledky jsou uvedeny v tabulce č.6. Kusy byly naplazmovány a proběhla



kontrola vzorečků, které se popisují v v odstavci pro zlepšení plazmovacího procesu, z důvodu kontroly, zda se v různých dávkách nemění parametry, struktura a složení nástřiku v plazmovací operaci.

Tabulka.6 – Výsledky sledované skupiny dílců po změně parametrů obrábění.

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Řezná rychlost (stop za minutu)	Posuv (inch) Finiš	Vyskytnutá vada popis vady	Drsnost naměřená na dobře obrobené ploše Ra	Drsnost naměřená v místě výskytu vady Ra
076	600	0,003	Ano-proužek ve vrchní oblasti kontury o šířce 1-2 mm	1,17	1,50
077	700	0,002	Ne	1,02	
078	800	0,001	Ne	1,21	
116	850	0,001	Ne	1,14	
117	700	0,003	Ne	1,08	

Z výsledků uvedených v tabulce je zřejmé, že zásadní vliv na kvalitu má řezná rychlost a zvolený posuv. Nejdříve jsme otáčky zvedali až do 850 stop za minutu a zároveň snižovali posuv. Vada se ale neprojevila už u druhého dílce, kde jsme zvýšily řeznou rychlost o 200 stop za minutu a zároveň snížili posuv na 0,002 inch. Dále je vidět, že se vada neprojevila ani u dalších kusů, ale posuv 0,001 inch měl zřejmě vliv na nepatrné zvýšení drsnosti povrchu, ikdyž se nejednalo o neshodu a dílec odpovídal výkresové dokumentaci s požadavkem na drsnost Ra 1,6. Proto jsme jako poslední krok zkusili obrobit dílec rychlostí 700 stop za minutu, jako u druhého dílce, a posuv jsme zvolili 0,003 inch. Kus také odpovídal požadavkům zákazníka a operace se zkrátila o téměř 2,5 minuty, proti kusu ze zakázky 116.

3.5. Zhodnocení výsledků

Pro ujištění, že navrhované řešení bylo správné a úspěšné, se rozhodli kontrolovat ještě jednu dávku 5 kusů, u které byly upraveny parametry v programu na hodnoty řezná rychlost 700 stop za minutu a posuv 0,003 inch v CNC programu. Výsledky viz. Tabulka 7

Tabulka.7 – Výsledky sledované skupiny dílců po úpravě parametrů v CNC programu .

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Řezná rychlost (stop za minutu)	Posuv (inch) Finiš	Vyskytnutá vada popis vady	Drsnost naměřená na dobře obrobené ploše Ra	Drsnost naměřená v místě výskytu vady Ra
413	700	0,003	Ne	1,11	Ne
414	700	0,003	Ne	1,03	Ne
415	700	0,003	Ne	1,13	Ne
416	700	0,003	Ne	1,14	Ne
417	700	0,003	Ne	1,08	Ne

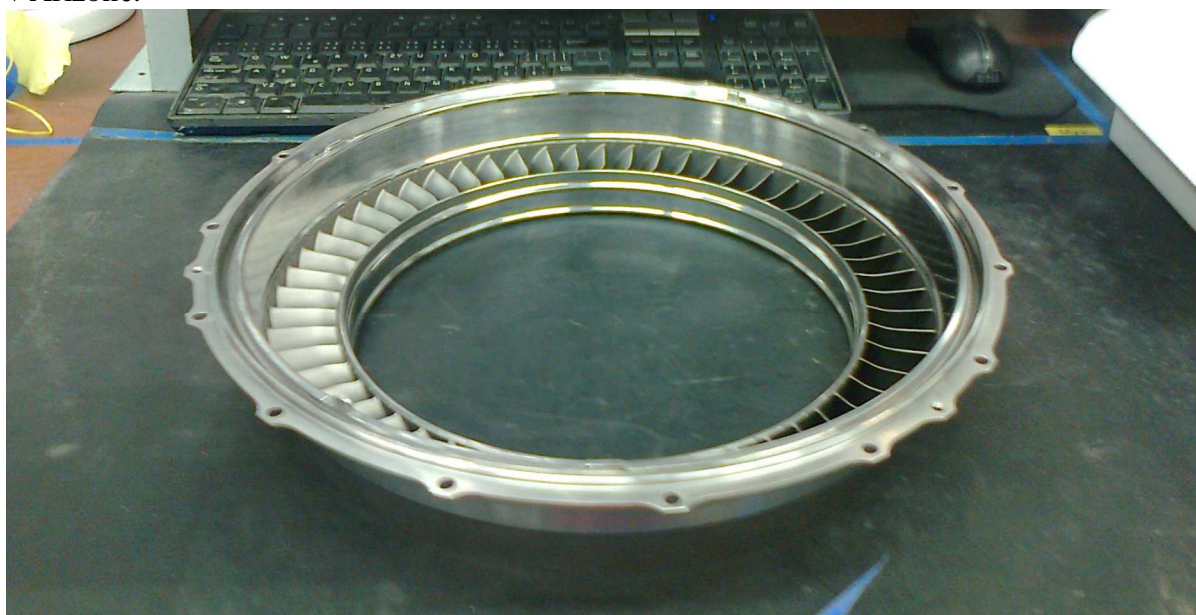
3.6. Zhodnocení výsledků

Při řešení problémů obrábění materiálů, jako jsou plazmové nástřiky, které se běžně neobrábí a dostupnost informací o tomto procesu a jeho obrábění, se řadí mezi výrobní tajemství firem, které se zabývají výrobou těchto dílců. Vypozoroval jsem, že při řešení problému je potřeba kontrolovat oba tyto procesy a ne se zaměřovat pouze na jeden. A až v případě zjištění, že je proces plazmování v pořádku, se přistoupilo k řešení procesu obrábění tohoto nástřiku. Je to velmi důležitý poznatek pro další řešení problémů při obrábění plazmových nástřiků. Stejně tak pozorování, že zásadní vliv na kvalitu povrchu má řezná rychlost a posuv. Je velká škoda, že se nepodařilo zjistit s jakou úspěšností a jakými výsledky se tento dílec vyráběl v PHX. Nebo, zda tuto změnu drsnosti považovali či nepovažovali za neshodu na dílci, abychom to mohli porovnat. Dále bylo zajímavé pozorovat, že technolog navrhl na posledním testovacím kusu snížení otáček a zvýšení posuvu, které pak odůvodnil jako úsporu výrobního času, a také zvýšení životnosti stroje, vzhledem k nižším otáčkám. Závěrem lze tedy říci, že byl tento problém úspěšně vyřešen, a to z nulové úspěšnosti na 100% úspěšnost vyrobených dílců, odpovídajícím požadavku zákazníka.

4. Problematický dílec č. 2

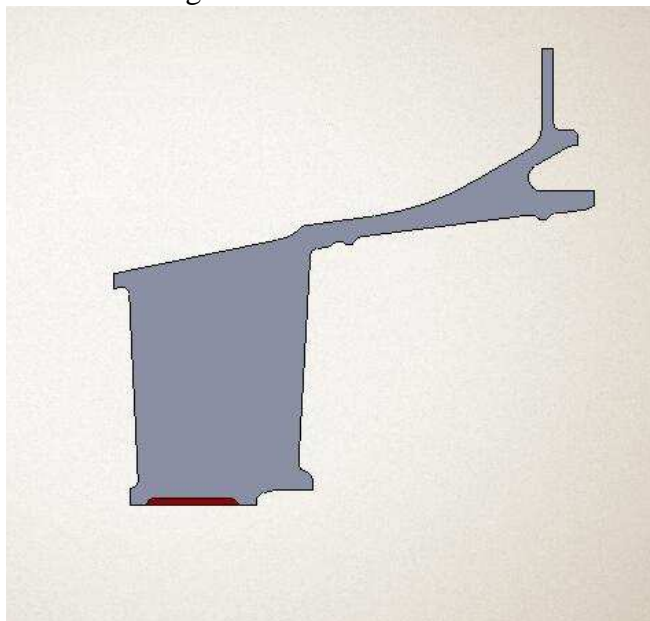
4.1. Dílec č. 2, popis dílce a vzniklého problému

Vzhledem k tomu, že většina informací ve firmě Honeywell podléhá utajení a to výrobnímu, vojenskému nebo obchodnímu, popíšeme si u dílce pouze informace potřebné pro tuto studii plazmovacího a obráběcího procesu. Nebudou zde zveřejněny žádné výkresy ani rozměry, které by mohly toto utajení porušit. Jedná se o rotační dílec, na kterém se obrábí nástřik adradable, tvořený z podkladové vrstvy z prášku METCO 480NS-NiAl a vrchní vrstvy tvořené práškem METCO 601NS-AlSi+Polyester. Složení těchto dvou prášků je popsáno v kapitole 1.3.3. Dále se tento materiál obrábí třískovým obráběním na horizontálním CNC soustruhu. Tento dílec začala firma vyrábět v rámci převodu výroby z amerického Phoenixu v Arizoně.



Obr.23- Fotografie dílce č.2

Popis řešeného problému – v oblasti vyznačené na obrázku č.24 se po obrobení vyskytovala neshoda připomínající vytržení nástřiku. A to, buď jen na určitých úsecích průměru, nebo po celém průměru. Detail této neshody je na obrázku č. 25. Jelikož u dílce byla předepsána vizuální kontrola obrobeneho povrchu, byly dílce označovány jako neshodné, a musely se opravovat. Výhodou plazmového nástřiku je možnost opravení nástřiku opětovným nanesením. V tomto případě také zákazník vyžadoval úplné odstranění původního nástřiku a opětovné nanesení obou vrstev. Vyskytnutý problém s kvalitou obrobeneho povrchu mohly způsobovat procesy plazmování nebo obrábění. K vyřešení tohoto problému byl také svolán řešitelský tým, který se skládal z technologa, který měl dílec na starosti, p. Petra Švece, technologa plazmovacího procesu p. Josefa Štourače a technologa obráběcího procesu soustružení ing. Libora Zubíčka.



Obr.24 Obrázek zachycující vadu po obrobení nástřiku



Obr.25 Fotografie zachycující vadu po obrobení nástřiku.

Dosavadní výroba tohoto dílce a její úspěšnost. Schůzky byly svolány na základě faktu, že při dlouhodobějším sledování průchodnosti tohoto dílce, muselo být více než 60 % obrobenech dílců opravováno. A téměř 10 % bylo zákazníkovi posíláno na výjimku, kde zákazník zhoršenou kvalitu akceptoval. Obsah těchto schůzek byl velmi podobný schůzkám při řešení neshod u prvního dílce. Kontrolovaná dávka byla stanovena na 3 kusy, z důvodu menšího objemu výroby tohoto dílce ve firmě.



4.2. Plazmovací proces dílce č. 2 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu

U procesu plazmování, na rozdíl od dílce č.1, nebyl proces plazmování kontrolován a schvalován zákazníkem, a jakoukoliv změnu provedenou v tomto procesu mohl vyhodnotit certifikovaný agent procesu. A v případě, že by metalografické výbrusy vzorků provedené změny odpovídaly požadavkům, tak by tuto změnu mohl sám schválit.

Vstupy, které mohou ovlivnit plazmovací proces.

1. Opotřebení trysky, elektrody a injektoru.
2. Proud vzduchu ovlivňující plazmový plamen.
3. Úhel nanášení.
4. Dostatečně otryskaný povrch.
5. Přítomnost nečistot na povrchu stříkané plochy před nástřikem.
- 6 . Program stroje dávkování, množství přídavných plynů, parametry nástřiku.
- 7 . Tvar drážky

Tyto vstupy byly označeny, že by mohli ovlivnit kvalitu plazmovacího procesu. Opět se dohodli na prověření těchto vstupů, aby vyloučili nedodržování pracovního postupu operátorem plazmování, nebo špatně a neúplně napsaný postup této operace. Z pozorování těchto možných vstupů u tří sledovaných dílců byly podniknuty tyto opatření:

- 1 . Před každým započítím procesu kontrolovaného dílce byla v plazmovacím hořáku vyměněna elektroda a injektor.
- 2 . Bylo fotograficky zdokumentováno přesné nastavení chladících trysek a bylo kontrolováno zda je opětovně stejně nastaveno.
- 3 . Úhel nanášení byl řízen programem robotu KUKA a mohl být měněn na základě zjištění, že nástřik na dílci vykazuje chyby ve struktuře nebo složení.
- 4 . Dostatečně otryskaný povrch, neshoda se vyskytovala u okraje, kde se nacházel rádius, proto byla kontrola zaměřena na správné otryskání rádiusů. Před plazmovací operací byl kontrolován u těchto tří dílců technologem plazmování, před započítím procesu plazmování.
- 5 . Přítomnost nečistot na povrchu stříkané plochy před nástřikem. Byla také kontrolována technologem před započítím procesu.
- 6 . Program stroje, úprava parametrů by mohla být měněna na základě zjištění, že vzorky vyhodnocované v laboratoři, by neodpovídaly požadavkům na strukturu a složení tohoto nástřiku.
- 7 . V případě, že by tvar drážky měl vliv na soudržnost nástřiku, tak zde byla možnost požádat o změnu výkresové dokumentace. Tato možnost byla záměrně zmíněna jako poslední, protože by se jednalo o velmi zdlouhavý proces schvalování změny, který by mohl trvat měsíce.

Výsledek pozorování: nebylo nalezeno žádné zjevné pochybení operátorů nebo postupů, dále nebyly nalezeny vady na tryskaném povrchu před plazmováním a ani žádné nečistoty. Program robota i zařízení byl překontrolován a zkalibrován.

4.3. Obráběcí proces dílce č. 1 a vstupy, které mohou ovlivnit jeho kvalitu

Tento proces nebyl kontrolován zákazníkem, takže se parametry procesu mohly změnit. V rámci převodu dílců z amerického Phoenixu v Arizoně sem byly přivezeny i stroje a přípravky, které se používaly při výrobě těchto součástí. Dílec se obráběl na horizontálním



soustruhu Daewoo Puma 400. Jedná se o horizontální CNC soustruh se šikmým ložem a otočnou nástrojovou hlavou se dvanácti pozicemi. Ve stroji byl také nahrán program, který používali pro obrábění těchto dílců v Americe. Fotografii přípravku a způsob upnutí dílce ve stroji nelze zveřejnit.



Obr.25 Fotografie soustruhu Daewoo Puma 400 (tato fotografie není z prostředí firmy Honeywell, je pouze pro představu, jak stroj vypadá).

Vstupy, které mohou ovlivnit obráběcí proces

- 1 . otupený nástroj
- 2 . řezná rychlost
- 3 . hloubka třísky
- 4 . posuv
- 5 . přechod
- 6 . řezný nástroj
- 7 . změna řezných podmínek
- 8 . chyby v CNC programu
- 9 . vibrace stroje či obrobku

Tyto vstupy byly označeny, že by mohli ovlivnit kvalitu obráběcího procesu. Opět se dohodli na prověření těchto vstupů, aby vyloučili nedodržování pracovního postupu operátorem obrábění, nebo špatně a neúplně napsaný postup této operace. Z pozorování těchto možných vstupů u tří sledovaných dílců byly podniknuty tyto opatření:

- 1 . Před každým započatím operace obrábění kontrolovaného dílce byla vyměněna břitová destička za novou, a po dokončení operace byl kontrolován její stav.
- 2 . Byl porovnán program se zálohou programu, zda nedošlo ke změně oproti zálohovanému programu.
- 3 . Kontrola CNC programu, zda neobsahuje chyby, měření nastavených otáček a porovnání se skutečnými.
- 4 . Prověření uchycení dílce v přípravku a přípravku ve stroji.
- 5 . Prověření, zda se neshoda vyskytuje na stejném místě dílce.
- 6 . Prověření používání správných nástrojů a správného postupu při výrobě.



Výsledek pozorování : nebylo nalezeno žádné zjevné pochybení operátora, stroje, programu či použití nepředepsaného nástroje. Dále bylo vypořádováno, že se neshoda vyskytuje na stejném místě dílce.

4.4. Zhodnocení procesů a návrh na řešení problému

Po obrobení kontrolní dávky tří kusů pod dohledem, zda je dodržován pracovní postup, a kontrolovány vstupy, které by mohly ovlivnit kvalitu procesů, byly výsledky úspěšnosti následující: vada se vyskytla na všech sledovaných kusech a to v různém rozsahu. Popsáno v tabulce č.8 Jelikož nebylo u obou procesů nalezeno žádné pochybení nebo nedodržení pracovního postupu, byly procesy vyhodnoceny jako nevyhovující a začala se řešit náprava ve formě kontroly stávajícího stavu procesu a jejich úprava. Opět se sepsala myšlenková mapa, která zachycovala vstupy, které by mohly tento problém způsobovat. Byla zaměřena na oba dva procesy, a to nejdříve na plazmovací proces, a po té na obráběcí proces. Dále si popíšeme návrhy, kontrolu a změnu v jednotlivých procesech a sledování úspěšnosti po obrobení kontrolních dávek. Tyto dávky byly domluveny na tři kusy, aby reprezentovaly úspěšnost procesu a ne jen náhodné zlepšení.

Hlavní body návrhu na kontrolu a zlepšení za proces plazmování.

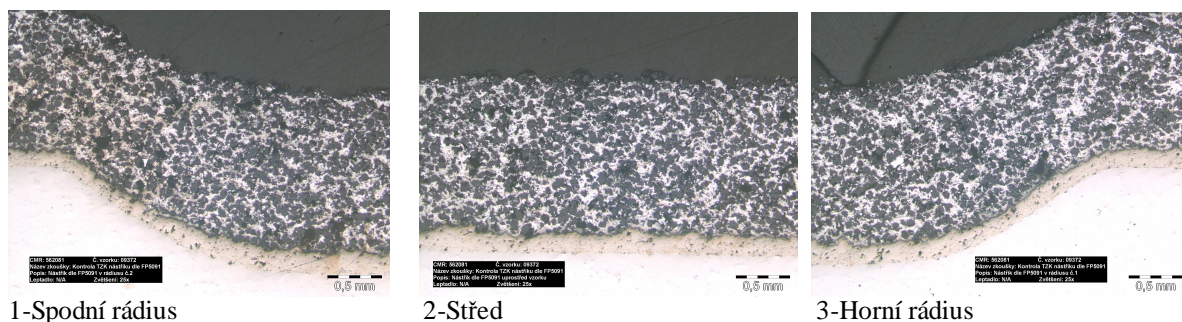
- 1 . Kontrola kvality nástřiku pomocí metalografického výbrusu na vzorku vyříznutého přímo z kontury dílce. Dílec je stříkán zároveň se vzorkem, který se posílá na vyhodnocení do laboratoře. Tímto krokem bylo potřeba také ověřit, zda vzorek odpovídá nástřiku na dílci, a jestli mezi nimi nejsou nějaké odchylky v kvalitě nebo struktuře.
- 2 . Z důvodu nástřiku rádiusů a výskytu neshody blízko tohoto rádiusu vyhodnocovat metalografický výbrus výřezu z dílce hned po nástřiku a potom znovu po obrobení.
- 3 . V případě, že by byl v prvních dvou bodech učiněn nějaký nález ovlivňující kvalitu nástřiku, tak by se upravit program robota Kuka, případně dávkovacího zařízení GTV.

V tomto případě nemuseli vyčleňovat dílec z výroby na technologické zkoušky, protože se ve skladě nacházely 2 kusy zmetkových dílců. Tyto dílce byly vyzmetkovány z důvodu tenké stěny odlitku v části, která však neovlivňovala průběh ani výsledky technologických zkoušek, které byly potřeba vykonat k odladění procesu plazmování a obrábění vyskytnutého problému.

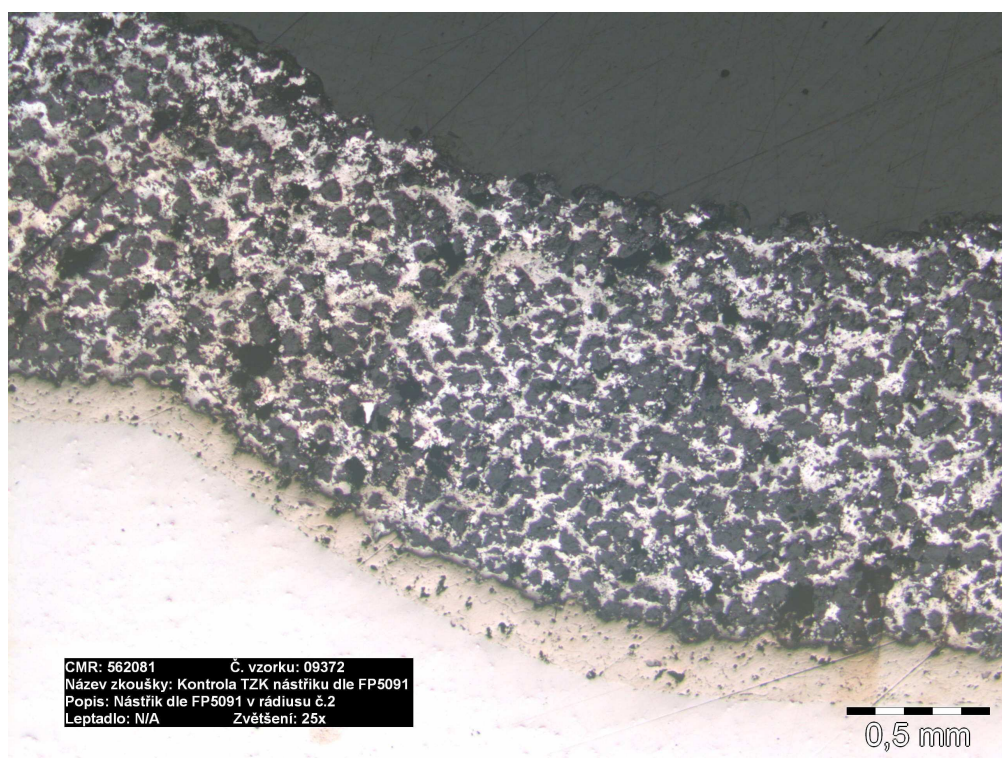
Technologické zkoušky se skládaly z těchto činností:

- a) Naplazmování dílce
- b) Výřez dílce v oblasti nástřiku pomocí drátové řezačky
- c) Vytvoření metalografického výbrusu.
- d) Obrobení dílce
- e) Výřez dílce v oblasti nástřiku pomocí drátové řezačky
- f) Vytvoření metalografického výbrusu.
- g) Vyhodnocení výsledků

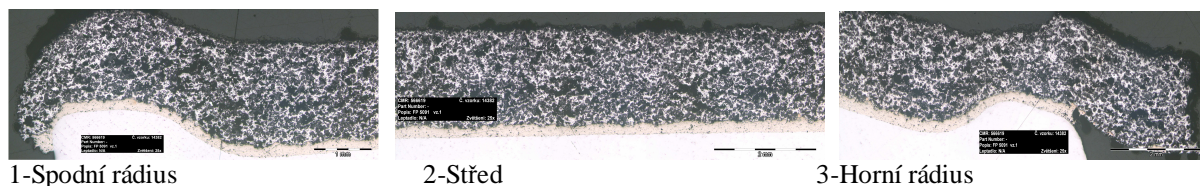
U provedeného metalografického výbrusu budeme vyhodnocovat nástřik v rádiusech a ve středové části drážky. To by mělo dostatečně reprezentovat celý nástřik. Dále se budeme zaměřovat na rádius a část, u které se vyskytuje neshoda. Kusy si označíme TZK-1 a TZK-2



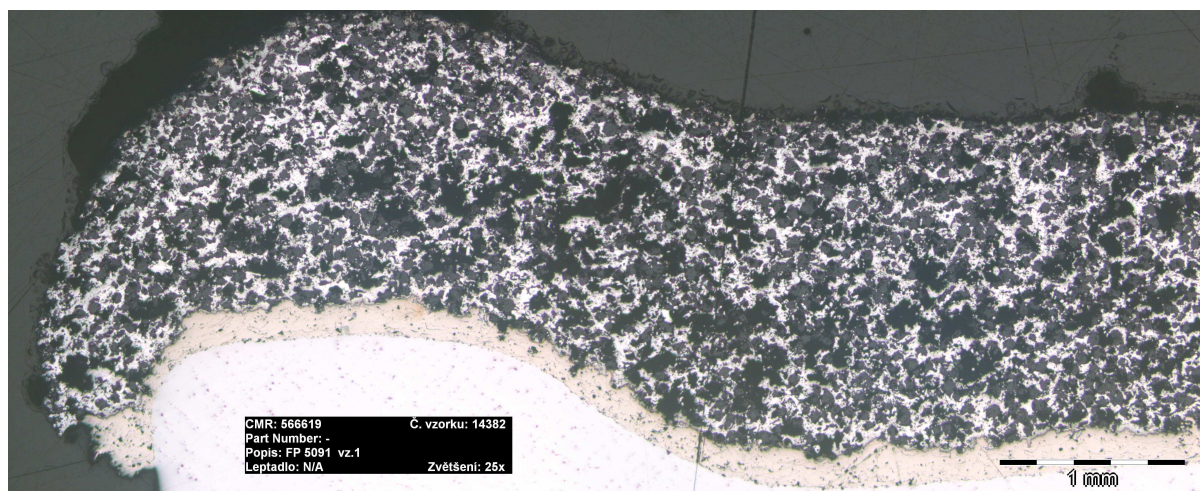
Obr.26 Fotografie metalografického výbrusu TZK-1 po naplazmování před obrobením (zvětšeno 25x).



Obr.26 Fotografie metalografického výbrusu TZK-1 detail rádiu s výskytem neshody



Obr.27 Fotografie metalografického výbrusu TZK-2 po naplazmování před obrobením (zvětšeno 25x).



Obr.28 Fotografie metalografického výbrusu TZK-2 detail rádiusu s výskytem neshody



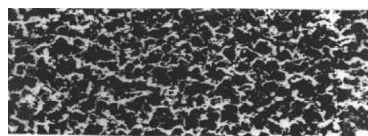
neakceptovatelné



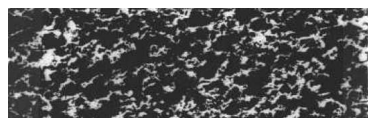
akceptovatelné



nástřík dle požadavků



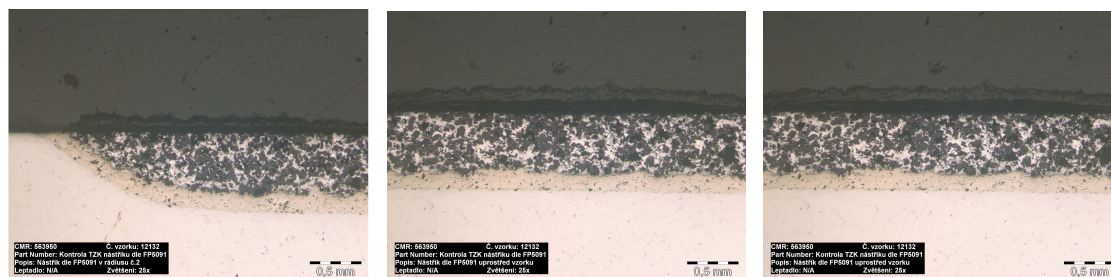
akceptovatelné



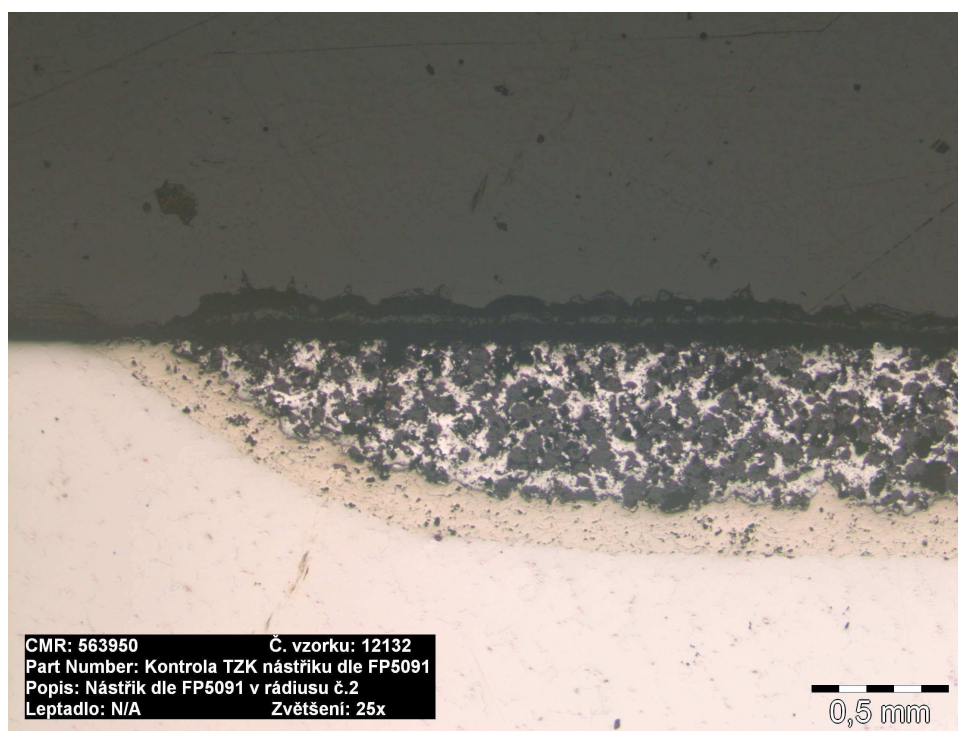
neakceptovatelné

Obr.29 Etalon pro vyhodnocování nástříku dílce č. 2

Můžeme tedy přejít k obrobení dílců a vyhodnocení nástříků po obrobení pomocí metalografických výbrusů. Zde se zaměříme na místo výskytu vady. Budeme vyhodnocovat nástřík ve spodním rádiusu a jeho nejbližší část. Vzhledem k tomu, že už jsme vyhodnotili nástřík jako odpovídající, tak vyhodnocení nástříku provedeme pouze na jednom kusu TZK-1.



Obr.30 Fotografie metalografického výbrusu TZK-1 po obrobení (zvětšeno 25x).



Obr.31 Fotografie metalografického výbrusu TZK-1 detail rádiusu s výskytem neshody.

Zhodnocení: Z metalografických výbrusů obou kusů TZK, je zřejmé, že nástřík nevykazuje žádné vady ani defekty. Struktura i složení odpovídá požadavkům zákazníka dle etalonu Obr.29 pro vyhodnocování tohoto nástříku. Není tedy potřeba na této části procesu nic měnit, a můžeme udělat závěr, že kvalita nástříku, jeho struktura a složení nemá vliv na neshodu, která se na dílci objevuje. Vzorky stříkané zároveň s dílcem měli stejnou strukturu i složení, jako vzorky vyřezané přímo z kusu. Můžeme proto považovat vzorky jako dostatečně reprezentující vlastnosti nástříku. Z metalografických výbrusů vzorku z dílce po obrobení je patrné, že ani zde nedochází k žádným vadám v nástříku. Zaměříme se tedy na proces obrábění tohoto dílce.

Hlavní body návrhu na kontrolu a zlepšení za proces obrábění.

1 . Jako první úvaha za proces obrábění bylo, že soustružnický nástroj přejíždí ze základního materiálu do materiálu nástříku a po té nazpět z materiálu nástříku do základního materiálu. Z tohoto důvodu je zřejmé, že CNC program nemůže obrábět po celé délce obráběné části stejnou řeznou rychlostí, z důvodu změny materiálu během dráhy nástroje a rozdílných



požadavcích na řeznou rychlost různých materiálů. Základní materiál nemůžeme z důvodu utajení zveřejnit, pouze zveřejníme doporučenou řeznou rychlost, která byla v rozmezí 100 až 150 stop za minutu. Požadavky na řeznou rychlost nástřiku doporučovala interní směrnice a byla stejně jako u vyšetřovaného dílce č. 1 předepsána na 500 stop za minutu a doporučené hodnoty pro posuvy byly pro hrubování 0,010 inch pro hrubování a 0,005 inch pro finišování. Jelikož se neshoda stále vyskytovala pouze na jedné straně drážky, tak se jako první krok při řešení problému zvolilo prověření, v jaké části program zvětšuje řeznou rychlost, a v jaké části ji snižuje. Posunutí těchto bodů nejdříve do základního materiálu, po té do plazmového nástřiku. A pro úplné prověření této části úvahy se dohodlo, že se na dílci vyzkouší obrobení kusu upnutého obráceně. Vzhledem k tomu, že kontrolní dávka byla stanovena na 3 kusy, bylo rozhodnuto, že se každý krok z těchto tří provede na jednom kusu. Výsledky jsou popsány v tabulce č.8.

Tabulka.8 – Výsledky sledované skupiny dílců po úpravě parametrů v CNC programu .

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Provedená změna	Vyskytnutá vada popis vady	Umístění vady na dílci
124	Posunutí bodů zrychlování a brzdění programu do základního materiálu	Ano- vytrhaný nástřik	Spodní rádius
125	Posunutí bodů zrychlování a brzdění programu do materiálu nástřiku	Ano- vytrhaný nástřik	Spodní rádius
126	Otočení dílce změna směru obrábění	Ano- vytrhaný nástřik	Spodní rádius

Z výsledků získaných po obrobení dávky 3 kusů lze usoudit, že se musíme zaměřit na optimalizaci procesu obrábění v místě spodního rádiusu dílce. Dalším krokem proto byla změna obráběcích parametrů, rychlosti posuvu a řezné rychlosti. Jelikož tato navržená změna měla u vyšetřování dílce č.1 kladný výsledek, byla tedy naplazmována dávka dalších třech kusů, kde byly v laboratoři vyhodnoceny metalografické výbrusy vzorečků plazmovaných zároveň s kusem. Protože jsme vyhodnotili, že dostatečně reprezentují nástřik na dílci. Dle předchozího postupu bylo také rozhodnuto, že se postupně bude zvyšovat řezná rychlost a snižovat posuv. Na každém dílci budou nastavené jiné parametry. Výsledky tohoto pokusu jsou znázorněny v tabulce č.9.

Tabulka.9 – Výsledky sledované skupiny dílců po úpravě parametrů v CNC programu .

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Řezná rychlost (stop za minutu)	Posuv (inch) Finiš	Vyskytnutá vada popis vady
278	600	0,003	Ano - ve velmi malé míře dílec by nemusel na opravu
279	700	0,002	Ne
280	750	0,001	Ano – vada poškrábání vzniklá zajištěním velkou řeznou rychlostí do základního materiálu a vytvořením třísky, která poškodila nástřik.



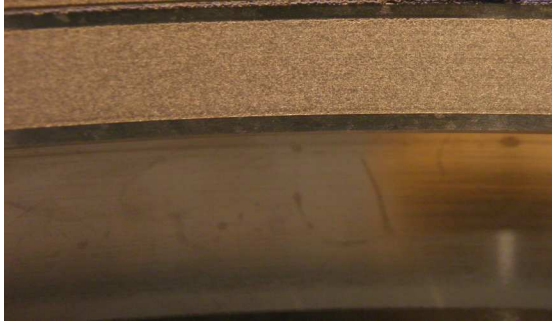


Z tabulky je patrné, že se podařilo obrobit jeden kus, na kterém se neshoda nevyskytovala. Pro ujištění že změna těchto dvou parametrů, řezná rychlost 700 stop za minutu a posuv 0,002 inch, vedlo k úspěšnému vyřešení problému se rozhodlo o zpracování dávky 7 kusů u kterých se zaznamená výsledek a úspěšnost řešení. Toto se potom bude eskalovat vedoucím výroby. Výsledky obrobění jsou v tabulce č.10.

4.5. Ověření funkčnosti navrhnutého řešení

Záznam o výsledu a úspěšnosti řešení je popsán v tabulce č.10. Bylo sledováno 7 kusů vložených do jedné zakázky.

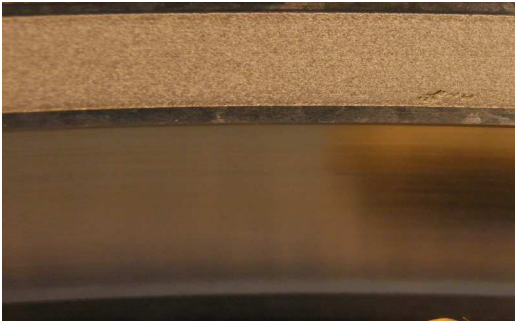
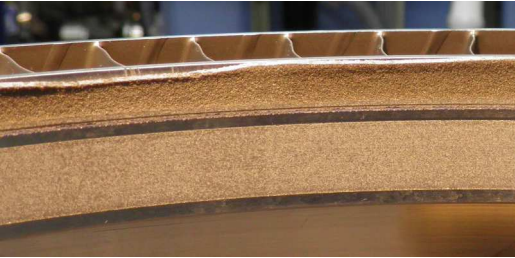
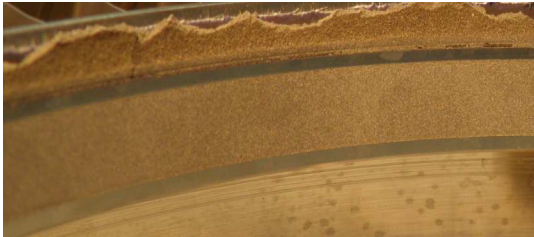

Tabulka č.10 sledované dílce

Poslední trojčíslí sledované zakázky	Vyskytnutá vada Popis vady	Fotografie řešené části dílce
401	Ne	
401	Ne Pouze jiný odstín nástřiku , ten však nebyl předmětem řešení	
401	Ne	



**Fakulta strojního inženýrství
FSI – VUT Brno**



401	Ano- na fotografii je vidět malé vytržení plazmy, tuto neshodu by však zákazník akceptoval bez opravy nástřiku	
401	Ne	
401	Ne	
401	Ne	



4.6. Zhodnocení výsledků

Z akcí podniknutých z důvodu zlepšení obráběcího procesu je patrné že, opět měly zásadní vliv na kvalitu obrobené plochy změna řezné rychlosti a posuvu. Stejně jako u dílce č.1. Prvotní předpoklady o vlivu směru obrábění a bodů ve kterých se mění řezná rychlost při přechodu v materiálech z rozdílnými vlastnostmi se nepotvrdili. Původní úspěšnost výroby tohoto dílce byla 40 % (z toho 10% na vyjímku kvality). P úpravách při dlouhodobějším sledování byla úspěšnost výroby vypočítaná technologem dílce na 90%. Zbýlých 10% vykazovalo minimální vytržení nástřiku. Které by zákazník akceptoval i ze zhoršenou kvalitou. Aby se u těchto 10 % nemuselo žádat stále zákazníka o povolování vyjímek, bylo požádáno o přidání poznámky do výkresové dokumentace, kde bylo drobné vydrolení povoleno. Po zavedení této změny ve výkresové dokumentaci byla úspěšnost výroby tohoto dílce téměř 100%.

5. Obecné zhodnocení návrhů řešení a výsledků

5.1. Aplikace dosažených zlepšení pro další problematiku dílce

Před začátkem řešení vyskytovaných neshod u dílce 1 a 2, byl ještě před svoláním řešitelského týmu, označován jako původce vyskytnutých neshod proces plazmování. Z výsledků dosažených v této práci se toto tvrzení nepotvrdilo. Proto bylo dohodnuto že, při dalším řešení výskytu většího počtu neshod u dílců na kterých se obrábí plazmový nástřik bude postupováno stejným způsobem jako u dílců 1 a 2. A to, že se nejdříve prověří proces plazmování, výřezem vzorku přímo z dílce a provede se metalografický výbrus. Na kterém se zkontroluje struktura, složení a kvalita nástřiku. Dále se porovná se vzorečkem plazmovaným zároveň z dílcem, zda správně reprezentuje vlastnosti nástřiku. Jako první krok při optimalizaci obráběcího procesu, bude testováno zvýšení řezné rychlosti a snížení posuvu. Potom teprve se přistoupí k dalším navrhovaným úpravám.

5.2. Dlouhodobé sledování dosažených výsledků

Dle vyjádření obou technologů dílců 1 a 2, se výsledky při dlouhodobém sledování procesů plazmování a obrábění nijak výrazně neměnili. Občasný výskyt neshod byl zaznamenán při nedodržování pracovních postupů operátorem, který se však projevoval výskytem jiného druhu neshod, než popsaných a řešených v této práci.

5.3. Využití výsledků pro návrhy na změny v interních směrnících

Z výsledků dosažených při studii obráběcích procesů dílců 1 a 2. Bylo patrné že doporučené otáčky v interních směrnících firmy neodpovídaly potřebám obráběcího procesu. Proto bylo navrženo přidání poznámky do interních směrnic. Tato poznámka měla obsahovat doporučení vyšších řezných rychlostí a nižšího posuvu při problémech s obráběním plazmových nástřiků. Nebo při zvýšených požadavcích na kvalitu obrobení abradable nástřiků.

5.4. Shrnutí závěrem

Závěrem lze říci že při výskytu neshod u obou dílců na obrobeném plazmovém nástřiku měl zásadní vliv obráběcí proces nikoliv proces plazmovací. U obráběcího procesu to byly hlavně řezná rychlost a posuv které ovlivňovaly kvalitu vyráběného dílce.



6. Závěr

Cílem celé mé práce bylo představení procesu plazmového nástřiku a obrábění takto vzniklého povrchu. A to přímo u dvou konkrétních problematických dílců. Rozbor obou procesů a vstupů které by mohly způsobovat vznik neshod. Vycházel jsem přitom ze zkušeností pracovníků firmy HONEYWELL, kde se těmito výrobními procesy v současnosti zabývají. Zavádějí totiž do výroby dílce převedené z amerického Phoenixu v Arizoně. Dospěl sem k těmto závěrům:

1. Při řešení výskytu neshod po obrobení plazmového nástřiku, nelze řešit pouze jeden proces, ale musí se řešit postupně. A to nejdříve prověřením plazmovacího procesu, zda-li odpovídá požadavkům, a po té prověřením případně optimalizací obráběcího procesu.
2. Významný vliv na jakost povrchu mají u procesu obrábění hlavně dva parametry. Řezná rychlost a posuv nástroje. Změnou těchto dvou parametrů můžeme zvyšovat jakost obráběných plazmovaných povrchů, a zabráňovat výskytu neshod.
3. Existuje mnoho vstupů které mohou ovlivnit výskyt neshod při obrábění plazmových nástřiků. A to v procesu plazmování i v procesu obrábění.
4. Výrobci materiálů používaných pro plasmové nástřiky, nedostatečně popisují ve svých technických listech parametry obrábění potřebných pro optimalizaci procesu obrábění takto vzniklých povrchů.
5. Všeobecně lze konstatovat že zvolený postup svolávání řešitelských týmů ve firmě Honeywell je správný. A lze dosáhnout velmi uspokojivých výsledků při řešení problémů.

V teoretické části této práce jsem se zabýval představením plazmových nástřiků, metod, a materiálů používaných pro tento proces. Zabýval jsem se hlavně technologiemi používanými ve firmě Honeywell, a materiály pro plazmové nástřiky používané na nástřik řešených dílců v této práci.

Závěrem lze tedy konstatovat že navržená řešení byla úspěšná, a to i v dlouhodobém pozorování. Všechny tyto návrhy by však bylo vhodné doložit rozšířením experimentů, což však kapacitní možnosti výroby neumožňovaly. Ve firmě Honeywell podléhá většina informací utajení, proto nebylo možné doplnit tuto práci ještě o prováděné výpočty při navrhování obráběcích parametrů, protože by obsahovaly informace o rozměrech dílce.



7. Použité zdroje

- [1] Žárové nástřiky: Moderní technologie povrchových úprav. *Žárové nástřiky* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/index.html>
- [2] *Žárové nástřiky a jejich průmyslové využití*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00347-4.
- [3] *Diplomová práce: Vliv podmínek přivádění přídavného materiálu do plazmového hořáku na vybrané fyzikálně mechanické vlastnosti vytvářeného povlaku*. 1990, 96 s.
- [4] MM Průmyslové spektrum: Technologie žárového nástřiku v leteckém průmyslu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2012-06-2]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-zaroveho-nastriku-v-leteckem-prumyslu.html>

Josef Štourač – ústní sdělení (Procesní inženýr plazmového nanášení) dne 20.dubna 2012

Ing. Libor Zubíček – ústní sdělení (Procesní inženýr obrábění) dne 9.dubna 2012

Přemysl Janalík – ústní sdělení (Produktový inženýr dílce) dne 21.dubna 2012